

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS
ESTRATÉGICAS DE PROTEÇÃO E RECARGA DE AQUÍFEROS**

Ana Catarina Lopes

DISSERTAÇÃO
MESTRADO EM GEOLOGIA APLICADA
HIDROGEOLOGIA
2014

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS
ESTRATÉGICAS DE PROTEÇÃO E RECARGA DE AQUÍFEROS**

Ana Catarina Lopes

Orientadores: Professora Doutora Maria do Rosário Carvalho e Professor Doutor
Manuel Oliveira da Silva

DISSERTAÇÃO
MESTRADO EM GEOLOGIA APLICADA
HIDROGEOLOGIA

2014

Resumo

No âmbito da delimitação da Reserva Ecológica Nacional, o atual regime jurídico prevê a definição de um conjunto de áreas que devem ser objeto de proteção especial, dado o seu valor e sensibilidade ecológicos ou pela exposição e suscetibilidade perante riscos naturais. Neste conjunto incluem-se as áreas de recarga e proteção de aquíferos, que visam principalmente a salvaguarda da quantidade e qualidade da água a fim de prevenir ou evitar a sua escassez ou deterioração.

Por outro lado, a Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro, designada por Lei da Água, estabelece também um conjunto de medidas de proteção especial dos recursos hídricos, nomeadamente a delimitação das áreas do território que constituem zonas de infiltração máxima para recarga de aquíferos para captação de água para abastecimento público de consumo humano.

Existem várias metodologias utilizadas atualmente para a delimitação destas áreas que compreendem a utilização de métodos de cálculo específicos, mas que se baseiam, de um modo geral, na soma ponderada de vários parâmetros que condicionam a infiltração da água nos aquíferos.

No presente trabalho, exemplifica-se numa determinada área de estudo (concelho de Óbidos) a aplicação de duas metodologias que se baseiam no cálculo do Índice de Recarga Efetiva e na Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição, compreendendo esta a determinação do Índice de Suscetibilidade e do EPIK. O trabalho é realizado a partir do desenvolvimento de um projeto num sistema de informação geográfica e aplicando as ferramentas necessárias de análise espacial e geoprocessamento que permitem obter a representação espacial das áreas de recarga e proteção de aquíferos.

Com vista à aplicação destas metodologias foi reunido o conjunto de informação de base necessário para o cálculo dos índices, tendo sido comparados os resultados obtidos de acordo com os meios hidrogeológicos identificados na área de estudo.

Relativamente aos meios porosos e mistos observa-se que, de um modo geral, as áreas calculadas pelo Índice de Suscetibilidade correspondem a áreas também definidas pelo Índice de Recarga Efetiva, no entanto estas abrangem uma extensão superior comparativamente às primeiras. Verifica-se ainda que a diferença entre os valores obtidos a partir de cada índice está associada ao facto de o Índice de Suscetibilidade compreender a determinação de um parâmetro não considerado pelo Índice de Recarga Efetiva – a profundidade da zona não saturada.

No que respeita ao meio cársico verifica-se que, apesar do Índice de Recarga Efetiva e do EPIK corresponderem à soma ponderada de vários parâmetros, cada metodologia considera critérios distintos para a definição das áreas de recarga. De acordo com os resultados obtidos, o cálculo do EPIK conduz à definição de uma área de recarga que abrange a totalidade da área de aplicação da metodologia, verificando-se ainda que a utilização de critérios distintos para a definição das áreas de recarga é o principal fator que justifica as diferenças identificadas entre os dois índices.

Não obstante as diferenças observadas entre os parâmetros e critérios considerados em cada índice, verifica-se também que os resultados obtidos são influenciados pela qualidade e quantidade de informação de base existente, condicionando o rigor da delimitação das áreas de recarga.

Abstract

The current legislation for the National Ecological Reserve delimitation includes the definition of certain areas that should be the object of special protection, given its value and ecological sensitivity or exposure and susceptibility to natural hazards. This definition includes the areas of protection and aquifer recharge, created to safeguard groundwater quantity and quality in order to prevent or avoid its shortage or deterioration.

On the other hand, the Law 58/2005 establishes also a set of special measures to protect water resources, including the delimitation of maximum infiltration areas to groundwater recharge for water abstraction for public water supply for human consumption.

There are several methodologies currently used to delimit these areas which comprise the use of specific methods of calculation, but they are based, in general, on the weighted sum of several parameters which influence the infiltration of water in aquifers.

This study exemplifies in a particular area (Óbidos) the application of two methodologies that are based on the calculation of Recharge Effective Index and Vulnerability Assessment, which comprises the determination of Susceptibility Index and EPIK. The study is developed in a geographic information system using the necessary tools for spatial analysis and geoprocessing that allow to obtain the spatial distribution of the areas of protection and aquifer recharge.

To implement these methodologies a set of basic information was collected. The results were compared according to the hydrogeological environments identified in the study area.

With regard to porous environments it is observed that, in general, the areas calculated by Susceptibility Index also correspond to areas defined by the Recharge Effective Index, however they cover a greater extent compared to the first. It also appears that the difference between the values obtained from each index is associated with the fact that the Susceptibility Index includes the determination of a parameter that is not considered by the Recharge Effective Index - the depth of the unsaturated zone.

Regarding the karst environments, despite the Recharge Effective Index and EPIK correspond to the weighted sum of several parameters, each methodology considers different criteria for the definition of recharge areas. According to the results obtained, the calculation of EPIK leads to the definition of a recharge area that covers the entire area of application of the methodology. The use of different criteria for the definition of recharge areas is the main factor that accounts for the differences identified between the two indices.

Despite the differences observed between the parameters and criteria considered in each index, the results are also influenced by the quality and quantity of information available, which affects the accuracy of the recharge areas delimitation.

Agradecimentos

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram várias as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que estas páginas fossem apresentadas. A todas manifesto os meus agradecimentos.

Aos meus orientadores, Professora Maria do Rosário Carvalho e Professor Manuel Oliveira da Silva, agradeço o apoio e acompanhamento, assim como os comentários, críticas e sugestões que me permitiram concluir este trabalho. Obrigada não só pela orientação ao longo deste mestrado, mas também pelo apoio durante os anos de licenciatura e pelas oportunidades que me permitiram dar início à minha vida profissional.

Ao Doutor Manuel Mendes de Oliveira agradeço os esclarecimentos e as sugestões, que foram fundamentais para obter os resultados necessários à concretização dos objetivos a que me propus.

À ARH Tejo e Oeste pela disponibilização dos dados essenciais ao desenvolvimento do estudo. Do trabalho realizado nesta “casa” nasceu o tema para esta tese, e por isso agradeço a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para os conhecimentos adquiridos e para que surgisse esta ideia. Agradeço aos meus “chefes” pelo que tenho aprendido ao longo destes anos e pelos desafios que me têm apresentado, com um “obrigado” especial à Fátima pelo apoio e incentivo. Obrigada também aos colegas pelas palavras de apoio ao longo destes meses.

Aos amigos, que desde o início deram uma palavra de incentivo. Cada um, à sua maneira, encorajou este projeto e fico grata por o terem acompanhado até ao fim. Foram vários os fins-de-semana adiados e as saídas desmarcadas, mas acredito que compensou. Uns mais perto do que outros todos ajudaram, mas não posso deixar de lado um agradecimento especial a duas pessoas. André, obrigada pelos contributos preciosos em algumas disciplinas, acredita que ajudaste muito. Obrigada a F pelas palavras de apoio em todos os nossos almoços semanais.

À família, que me acompanha sempre. Obrigada pelo carinho e desculpem o afastamento ao longo destes meses, principalmente ao meu “pirata”, que me deu os abraços mais fofos do mundo enquanto escrevia estes agradecimentos.

Aos meus pais, que me permitiram ser o que sou hoje. Obrigada por estarem sempre presentes e me terem dado tudo o que deram ao longo destes 29 anos. Adoro-vos.

Ao Nuno, porque sem ti tudo seria mais difícil. Nada do que que possa escrever reflete o que sinto. És o meu crítico n.º 1 e agradeço-te por isso. Obrigada pelo amor, carinho, compreensão e paciência, muita paciência...

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. METODOLOGIAS	4
2.1. Índice de Recarga Efetiva	4
2.2. Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição.....	6
2.2.1. Índice de Suscetibilidade	6
2.2.2. EPIK.....	9
3. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO.....	12
3.1. Localização geográfica	12
3.2. Geologia.....	12
3.2.1. Contexto geológico.....	12
3.2.2. Litostratigrafia	14
3.2.3. Tectónica	18
3.3. Geomorfologia.....	19
3.4. Hidrogeologia	23
3.4.1. Contexto hidrogeológico	23
3.4.2. Caldas da Rainha-Nazaré	24
3.4.3. Cesareda	26
3.4.4. Orla Ocidental Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste	27
4. APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE RECARGA EFETIVA	30
4.1. Recarga potencial (Ip).....	30
4.2. Declive da superfície topográfica (D)	30
4.3. Litologia e estrutura da zona vadosa (ZV)	31
4.4. Cálculo do IR_{ef}	35
5. DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO	42
5.1. Índice de Suscetibilidade	42
5.1.1. Profundidade da zona não saturada (D)	42
5.1.2. Recarga do aquífero (R)	48
5.1.3. Geologia do aquífero (A)	48
5.1.4. Topografia (T)	52
5.1.5. Cálculo do IS	52
5.2. EPIK.....	58
5.2.1. Epicarso (E)	58
5.2.2. Cobertura de proteção (P).....	58

5.2.3. Condições de infiltração (I).....	60
5.2.4. Grau de desenvolvimento da rede cárstica (K).....	61
5.2.5. Cálculo do EPIK	62
6. COMPARAÇÃO DAS METODOLOGIAS	65
6.1. Meios porosos e mistos.....	65
6.2. Meio cárstico	70
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
8. BIBLIOGRAFIA	75

Índice de Quadros

Quadro 1: Parâmetro “Recarga potencial”	4
Quadro 2: Parâmetro “Declive da superfície topográfica”	4
Quadro 3: Parâmetro “Litologia e estrutura da zona vadosa”	5
Quadro 4: Parâmetro “Profundidade da zona não saturada”	7
Quadro 5: Parâmetro “Recarga do aquífero”	7
Quadro 6: Parâmetro “Geologia do aquífero”	7
Quadro 7: Parâmetro “Topografia”	8
Quadro 8: Classes de vulnerabilidade do IS	8
Quadro 9: Parâmetro “Epicarso”	9
Quadro 10: Parâmetro “Cobertura de proteção”	9
Quadro 11: Parâmetro “Condições de infiltração”	10
Quadro 12: Parâmetro “Condições de infiltração” (Musy, 2005 <i>in</i> Robu, 2009)	10
Quadro 13: Parâmetro “Grau de desenvolvimento da rede cárstica”	11
Quadro 14: Classes de vulnerabilidade do EPIK	11
Quadro 15: Ponderação atribuída ao parâmetro ZV	32
Quadro 16: Ponderação atribuída ao parâmetro A	51
Quadro 17: Comparação entre o IR_{ef} e do IS – parâmetros calculados e informação de base	65
Quadro 18: Extensão das áreas de recarga definidas pelo IR_{ef} e IS (em km^2 e em %, considerando a área de aplicação dos índices)	66
Quadro 19: Comparação dos parâmetros D (IR_{ef}) e T (IS)	68
Quadro 20: Comparação dos parâmetros I_p (IR_{ef}) e R (IS)	68
Quadro 21: Comparação dos parâmetros ZV (IR_{ef}) e A (IS)	68

Índice de Figuras

Figura 1: Enquadramento geográfico da área de estudo (imagem de satélite obtida através do ArcGIS Online).	12
Figura 2: Enquadramento geológico da área de estudo (informação geológica à escala 1:500.000 adaptada do Atlas do Ambiente).	13
Figura 3: Carta geológica do concelho de Óbidos (adaptada da Carta Geológica de Portugal Continental à escala 1:50.000).	15
Figura 4: Modelos explicativos da evolução dos vales tifónicos da Orla Ocidental (Cabral, 1995).	18
Figura 5: Unidades geomorfológicas identificadas no concelho de Óbidos (adaptado de Azerêdo <i>et al.</i> , 2006).	19
Figura 6: Relevos do interior do vale tifónico, constituídos por calcários dolomíticos do Complexo da Dagorda, que oferecem maior resistência à erosão relativamente às margas e argilas salíferas.	20
Figura 7: Superfície aplanada de Olho Marinho, observada a partir do Planalto da Cesareda.	20
Figura 8: Carsificação observada junto à nascente do Olho Marinho.	21
Figura 9: Modelo digital de terreno da área abrangida pelo concelho de Óbidos e rede de drenagem, de acordo com a Carta Militar de Portugal à escala 1:25.000.	22
Figura 10: Enquadramento hidrogeológico regional, com delimitação das massas de água subterrânea.	23
Figura 11: Massas de água subterrânea delimitadas no concelho de Óbidos, representadas sobre a carta geológica.	24
Figura 12: Recarga da massa de água subterrânea Caldas da Rainha-Nazaré (dados cedidos pela ARH Tejo e Oeste).	25
Figura 13: Recarga da massa de água subterrânea Cesareda (dados cedidos pela ARH Tejo e Oeste). ..	26
Figura 14: Localização da área com potencial hidrogeológico designada de Lagoa de Óbidos.	27
Figura 15: Recarga da massa de água subterrânea Orla Ocidental Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste (dados cedidos pela ARH Tejo e Oeste).	29
Figura 16: Distribuição espacial do parâmetro I_p do IR_{ef}	30
Figura 17: Distribuição espacial do parâmetro D do IR_{ef}	31
Figura 18: Representação espacial do parâmetro ZV do IR_{ef} , de acordo com as ponderações do cenário 1.	34
Figura 19: Representação espacial do parâmetro ZV do IR_{ef} , de acordo com as ponderações do cenário 2.	34
Figura 20: Representação espacial do parâmetro ZV do IR_{ef} , de acordo com as ponderações do cenário 3.	35
Figura 21: Representação espacial do IR_{ef} , de acordo com o cenário 1.	36
Figura 22: Representação espacial do IR_{ef} , de acordo com o cenário 2.	36
Figura 23: Representação espacial do IR_{ef} , de acordo com o cenário 3.	37

Figura 24: Representação espacial do IR_{ef} , de acordo com o cenário 2, sobre a cartografia geológica.	39
Figura 25: Representação espacial do IR_{ef} , de acordo com o cenário 3, sobre a cartografia geológica.	40
Figura 26: Representação espacial do IR_{ef} , de acordo com o cenário 1, sobre a cartografia geológica.	41
Figura 27: Limite da área de interpolação relativa à massa de água Caldas da Rainha-Nazaré na parte terminal do vale tifónico.	43
Figura 28: Profundidade do nível da água na massa de água Caldas da Rainha-Nazaré (à esquerda) e distribuição espacial do parâmetro D do IS (à direita).	44
Figura 29: Profundidade do nível da água no setor este da massa de água Orla Ocidental Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste (à esquerda) e distribuição espacial do parâmetro D do IS (à direita).	45
Figura 30: Profundidade do nível da água no setor oeste da massa de água Orla Ocidental Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste (à esquerda) e distribuição espacial do parâmetro D do IS (à direita).	46
Figura 31: Profundidade do nível da água na área com potencial hidrogeológico designada de Lagoa de Óbidos (à esquerda) e distribuição espacial do parâmetro D do IS (à direita).	47
Figura 32: Distribuição espacial do parâmetro R do IS.	48
Figura 33: Representação espacial do parâmetro A do IS, de acordo com as ponderações do cenário 1.	49
Figura 34: Representação espacial do parâmetro A do IS, de acordo com as ponderações do cenário 2.	50
Figura 35: Representação espacial do parâmetro A do IS, de acordo com as ponderações do cenário 3.	50
Figura 36: Distribuição espacial do parâmetro T do IS.	52
Figura 37: Representação espacial do IS, de acordo com o cenário 1.	53
Figura 38: Representação espacial do IS, de acordo com o cenário 2.	54
Figura 39: Representação espacial do IS, de acordo com o cenário 3.	54
Figura 40: Representação espacial do IS, de acordo com o cenário 3, sobre a cartografia geológica.	56
Figura 41: Representação espacial do IS, de acordo com o cenário 1, sobre a cartografia geológica.	57
Figura 42: Distribuição espacial do parâmetro E do EPIK.	58
Figura 43: Afloramento das formações jurássicas no planalto da Cesareda, onde se observa a espessura reduzida de solo.	59
Figura 44: Distribuição espacial do parâmetro P do EPIK.	59
Figura 45: Distribuição espacial do parâmetro I do EPIK, de acordo com a metodologia definida por Doerfliger e Zwahlen (1997).	60
Figura 46: Distribuição espacial do parâmetro I do EPIK, de acordo com os critérios apresentados em Robu (2009).	61

Figura 47: Distribuição espacial do parâmetro K do EPIK.	62
Figura 48: Distribuição espacial do índice EPIK, de acordo com a metodologia definida por Doerfliger e Zwahlen (1997).	63
Figura 49: Distribuição espacial do índice EPIK, de acordo com os critérios apresentados em Robu (2009).	63
Figura 50: Comparação das áreas de recarga obtidas com o IR_{ef} e o IS para o cenário 1.	67
Figura 51: Comparação das áreas de recarga obtidas com o IR_{ef} e o IS para o cenário 3.	67
Figura 52: Comparação das áreas de recarga obtidas com o IR_{ef} e o EPIK.	71
Figura 53: Representação espacial do IR_{ef} na massa de água Cesareda, considerando a ponderação 10 atribuída ao parâmetro ZV para as Camadas de Montejunto.	72

Acrónimos

AML – Área Metropolitana de Lisboa

ARH – Administração de Região Hidrográfica

CCDR-LVT – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo

IR_{ef} – Índice de Recarga Efetiva

IS – Índice de Suscetibilidade

MDT – Modelo digital de terreno

OVT – Oeste e Vale do Tejo

PROT-AML – Plano Regional de Ordenamento do Território da Área Metropolitana de Lisboa

PROT-OVT – Plano Regional de Ordenamento do Território do Oeste e Vale do Tejo

REN – Reserva Ecológica Nacional

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

1. INTRODUÇÃO

A delimitação da Reserva Ecológica Nacional (REN) compreende a definição de áreas que, pelo valor e sensibilidade ecológicos ou pela exposição e suscetibilidade perante riscos naturais, são objeto de proteção especial, tal como define o Decreto-Lei n.º 239/2012, de 2 de novembro, que estabelece o novo regime jurídico da REN e altera o Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto. Estas áreas classificam-se como:

- Áreas de proteção do litoral;
- Áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre;
- Áreas de prevenção de riscos naturais.

Cada uma destas áreas integra várias tipologias, incluindo-se nas áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre as “áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos”. Estas áreas são definidas, pelo mesmo diploma, como as áreas geográficas que, devido à natureza do solo, às formações geológicas aflorantes e subjacentes e à morfologia do terreno, apresentam condições favoráveis à ocorrência de infiltração e recarga natural dos aquíferos, revestindo-se de particular interesse na salvaguarda da quantidade e qualidade da água a fim de prevenir ou evitar a sua escassez ou deterioração.

Não obstante a importância da REN como estrutura biofísica criada para a proteção dos recursos naturais e gestão do território, a delimitação das áreas de proteção e recarga de aquíferos enquadra-se principalmente no âmbito da proteção e valorização dos recursos hídricos subterrâneos. Neste contexto, a Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro, também designada por Lei da Água, estabelece um conjunto de medidas de proteção especial dos recursos hídricos que compreende, entre outras, a delimitação das áreas do território que constituem zonas de infiltração máxima para recarga de aquíferos para captação de água para abastecimento público de consumo humano. Deste modo, e apesar dos diferentes enquadramentos legais, estas áreas constituem zonas de proteção especial destinadas a salvaguardar a quantidade e qualidade da água subterrânea, com vista à definição de restrições à ocupação do território.

O Decreto-Lei n.º 239/2012, 2 de novembro, define ainda as funções das áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos no âmbito da REN, que são:

- Garantir a manutenção dos recursos hídricos renováveis disponíveis e o aproveitamento sustentável dos recursos hídricos subterrâneos;
- Contribuir para a proteção da qualidade da água;
- Assegurar a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos e da biodiversidade dependentes da água subterrânea, com particular incidência na época de estio;
- Prevenir e reduzir os efeitos dos riscos de cheias e inundações, de seca extrema e de contaminação e sobreexploração dos aquíferos;
- Prevenir e reduzir o risco de intrusão salina, no caso dos aquíferos costeiros e estuarinos;
- Assegurar a sustentabilidade dos ecossistemas de águas subterrâneas, principalmente nos aquíferos cársicos, como por exemplo invertebrados que ocorrem em cavidades e grutas.

À delimitação destas áreas está associado um conjunto de restrições à ocupação do solo, podendo ser condicionadas ou interditas as atividades ou instalações que se revelem incompatíveis com o

objetivo de proteção preconizado na legislação em vigor. Neste contexto, salienta-se a importância do rigor da delimitação, que deve ser baseada em critérios adequados e no conhecimento geológico e hidrogeológico da área a estudar, de modo a salvaguardar as áreas que efetivamente demonstrem ser relevantes para a recarga dos aquíferos e evitar a imposição de restrições ao nível do ordenamento em zonas onde a infiltração da água é reduzida.

No sentido de proceder à definição das áreas de recarga têm vindo a ser desenvolvidas metodologias que compreendem a utilização de métodos de cálculo específicos (CCDR-LVT, 2009; Oliveira *et al.*, 2002; Pena, 2008). De um modo geral, estes métodos baseiam-se na soma ponderada de vários parâmetros que condicionam a infiltração da água nos aquíferos.

De entre as várias metodologias existentes podem destacar-se duas que, tendo sido indicadas pelas entidades com competência para a aprovação das propostas de REN apresentadas pelos municípios, consideram parâmetros e critérios diferentes: estas metodologias baseiam-se no cálculo do Índice de Recarga Efetiva e na Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição.

O Índice de Recarga Efetiva (CCDR-LVT, 2009) considera que os fatores mais relevantes para a definição das áreas de recarga são a recarga potencial, o declive da superfície topográfica e a litologia e estrutura da zona vadosa, que correspondem aos parâmetros Ip, D e ZV, respetivamente.

A Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição é utilizada para a delimitação destas áreas com base no pressuposto de que as áreas mais vulneráveis são também as mais permeáveis que alimentam o aquífero. Atendendo ao meio hidrogeológico da área a estudar, esta avaliação compreende o cálculo de três índices – Índice de Suscetibilidade (Ribeiro, 2005), VULFRAC (Fernandes, 2003) e EPIK (Doerfliger e Zwahlen, 1997). O Índice de Suscetibilidade apresenta algumas semelhanças com o Índice de Recarga Efetiva, anteriormente mencionado, compreendendo o cálculo de quatro parâmetros que considera serem os mais relevantes para a definição das áreas de recarga: profundidade da zona não saturada (D), recarga do aquífero (R), geologia do aquífero (A) e topografia (T). O VULFRAC e o EPIK, por serem aplicados em meios fissurados e cárscicos, respetivamente, envolvem a determinação de parâmetros relacionados com a geologia, hidrogeologia e geomorfologia desse tipo de aquíferos.

Apesar das diferenças mencionadas, considera-se em cada um destes métodos que a recarga corresponde ao fluxo descendente de água com origem na precipitação que atinge o nível freático, aumentando a quantidade de água na zona saturada. No entanto, os parâmetros e critérios utilizados podem condicionar os resultados obtidos e comprometer a continuidade e coerência espacial das áreas de recarga. Neste contexto, o trabalho visa a comparação destas metodologias com aplicação numa determinada área do território, com vista a:

- Analisar os critérios considerados para a sua aplicação;
- Avaliar a adequabilidade de cada metodologia na delimitação das áreas de recarga, atendendo ainda à especificidade de diferentes meios hidrogeológicos;
- Averiguar a possibilidade da sua aplicação numa determinada área geográfica, analisando a informação necessária para o cálculo dos métodos e a informação de base de natureza hidrogeológica disponível para a sua aplicação;
- Confrontar e comparar os resultados obtidos e analisar a coerência das áreas delimitadas a partir das duas metodologias.

Relativamente à escolha da área geográfica para a aplicação das metodologias, foram tidos em consideração os seguintes critérios para a realização do trabalho:

- Área de atuação da Administração da Região Hidrográfica do Tejo e Oeste (ARH Tejo e Oeste);
- Escala municipal, atendendo à delimitação que deve ser efetuada no âmbito da REN;
- Área abrangida por vários meios hidrogeológicos, de modo a avaliar a especificidade de cada metodologia.

Com a conjugação destes critérios identifica-se um concelho preferencial para o desenvolvimento do trabalho – Óbidos. Esta área destaca-se devido à quantidade de informação de base existente e por ser abrangido por dois sistemas aquíferos (Caldas da Rainha-Nazaré e Cesareda) e uma área com potencial hidrogeológico (Lagoa de Óbidos), definida no Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste (INAG, 2001).

A aplicação das metodologias e a comparação dos resultados obtidos pode ser efetuada atualmente com relativa facilidade, a partir do desenvolvimento de um projeto num sistema de informação geográfica, neste caso o ArcMap 10 da ESRI. Com base no conjunto de dados necessários à aplicação das metodologias referidas anteriormente e utilizando as ferramentas necessárias de análise espacial e geoprocessamento, pretende-se obter a representação espacial das áreas de recarga e proteção de aquíferos no concelho de Óbidos, permitindo assim concretizar os objetivos anteriormente enunciados.

Salienta-se que o trabalho tem como objetivo a comparação das metodologias, não se pretendendo delimitar as áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos de acordo com a definição completa da legislação, que considera por exemplo a importância dos ecossistemas dependentes das águas subterrâneas na definição desta tipologia REN.

No sentido de concretizar as tarefas propostas, o trabalho estrutura-se da seguinte forma:

Após a introdução ao tema e definição dos objetivos a atingir, apresentam-se as metodologias a aplicar na área em estudo, com descrição dos critérios e parâmetros considerados no cálculo de cada índice.

O capítulo 3 corresponde ao enquadramento da área onde se pretende aplicar as metodologias para a definição das áreas de recarga, apresentando-se uma caracterização genérica da geologia, geomorfologia e hidrogeologia do concelho de Óbidos.

Nos capítulos 4 e 5 apresentam-se todos os cálculos necessários à aplicação do Índice de Recarga Efetiva, do Índice de Suscetibilidade e do EPIK, com a determinação dos respetivos parâmetros e definição de vários cenários de aplicação das metodologias.

O capítulo 6 visa a comparação das metodologias de acordo com os meios hidrogeológicos existentes na área em estudo, apresentando-se também a discussão dos resultados obtidos.

Finalmente, no último capítulo apresentam-se as considerações finais do estudo, com a síntese das principais conclusões.

2. METODOLOGIAS

2.1. Índice de Recarga Efetiva

No âmbito do Plano Regional de Ordenamento do Território do Oeste e Vale do Tejo (PROT-OVT) e do Plano Regional de Ordenamento do Território da Área Metropolitana de Lisboa (PROT-AML), que fornecem as diretrizes estratégicas para a revisão dos Planos Diretores Municipais (PDM) dos concelhos destas regiões, a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo (CCDR-LVT) apresentou dois relatórios com o objetivo de definir o Quadro de Referência Regional da REN da AML e do OVT à escala 1:200.000 e 1:250.000, respetivamente (CCDR-LVT, 2010 e CCDR-LVT, 2009). Nestes relatórios, e atendendo ao Decreto-Lei n.º 239/2012, de 2 de novembro, é apresentado um conjunto de metodologias que visa a delimitação das diferentes tipologias da REN, tendo sido adotado o Índice de Recarga Efetiva (IR_{ef}) para a definição das áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos. Este índice corresponde à média ponderada de três parâmetros: a recarga potencial, o declive da superfície topográfica e a litologia e estrutura da zona vadosa.

A **recarga potencial (I_p)** é calculada ao nível do solo, considerando-se as classes e valores utilizados na determinação do índice DRASTIC (Aller *et al.*, 1987), aplicado para avaliar a vulnerabilidade à poluição (Quadro 1).

Quadro 1: Parâmetro “Recarga potencial”

Recarga potencial (mm/ano)	Valor
<51	1
51 - 102	3
102 - 178	6
178 - 254	8
>254	9

O **declive da superfície topográfica (D)** influencia a infiltração de água no solo, correspondendo a uma maior inclinação do terreno uma menor capacidade de infiltração da água. Tal como no parâmetro I_p , são consideradas as classes definidas no índice DRASTIC (Quadro 2).

Quadro 2: Parâmetro “Declive da superfície topográfica”

Declive (%)	Valor
<2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
>18	1

Nesta metodologia, a **litologia e estrutura da zona vadosa (ZV)** é o fator que mais condiciona a recarga subterrânea efetiva, distinguindo-se esta da quantidade de água potencial disponível para recarga a partir do solo (recarga potencial), devido à existência de materiais menos permeáveis na zona vadosa que limitam o escoamento. Para determinar este parâmetro são atribuídos valores de 1 a 10, de acordo com a natureza e a permeabilidade vertical da zona vadosa das formações hidrogeológicas. Relativamente às formações presentes na região do Oeste e Vale do Tejo (na qual se inclui a área de estudo) são atribuídos os índices que constam no Quadro 3.

Quadro 3: Parâmetro “Litologia e estrutura da zona vadosa”

Classe	Valor
Dunas, areias de duna e de praia	10
Terraços e aluviões arenosas	8 - 10
Lodos e argilas	1
Depósitos do Maciço Calcário Estremenho	2 - 5
Depósitos do Pliocénico	3 - 6
Areias e argilas de Pombal e Redinha (Miocénico)	3 - 5
Miocénico da Bacia do Tejo	5 - 7
Complexo detrítico e calcário do Paleogénico	3
Complexo Vulcânico de Lisboa	2
Calcários do Cretácico médio (calcários com rudistas)	4 - 6
Calcários margosos e margas do Cretácico inferior (Belasiano)	3 - 4
Grés do Cretácico inferior	3 - 6
Grés superiores com restos de vegetais e dinossauros do Jurássico superior	3 - 4
Calcários carsificados do Jurássico superior: Camadas de Montejunto, Calcários de Amaral e Calcários de Ota e Alenquer	6 - 8
Outras formações do Jurássico superior	3 - 4
Calcários e calcários dolomíticos e Formação de Candeeiros do Jurássico médio	8 - 10
Dolomitos, calcários e calcários dolomíticos do Jurássico inferior	6 - 7
Formação de Dagorda	1
Grés de Silves do Triásico	2
Quartzitos	3
Rochas fraturadas e fissuradas (ígneas e metamórficas)	2

Ainda relativamente ao parâmetro ZV, assume-se que o valor da recarga efetiva é igual ao da recarga potencial quando a zona vadosa é constituída por areia ou calcário muito carsificado, adotando-se o valor 10. Pelo contrário, quando os materiais apresentam permeabilidade muito reduzida, como por exemplo lodos ou argilas, o índice toma o valor 1.

Após a determinação dos três parâmetros descritos (I_p , D e ZV), calcula-se o IR_{ef} através da seguinte média ponderada:

$$IR_{ef} = (I_p + D + 3ZV) / 5 \quad (\text{equação 1})$$

Os resultados obtidos, que variam entre 1 e 9,8, são agrupados em 10 classes (de 1 a 10), sendo cada classe atribuída com o arredondamento do índice para o número inteiro mais próximo. A classe 1 corresponde à situação de recarga efetiva mínima e a classe 10 indica a situação hidrogeológica com maior capacidade de recarga efetiva.

A definição das áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos efetuada à escala regional para a região do Oeste e Vale do Tejo (CCDR-LVT, 2009) tem ainda em conta os seguintes critérios:

- São selecionadas as áreas que correspondem às classes 8 e 9 do IR_{ef} , independentemente do declive, e às classes 6 e 7 quando o declive é $<6\%$;
- Consideram-se apenas as áreas correspondentes aos sistemas aquíferos definidos por Almeida *et al.* (2000), sendo excluídas as áreas com índices de recarga efetiva elevados que não se incluam nesses sistemas aquíferos;
- São eliminadas todas as áreas que abrangem uma extensão inferior a um hectare, dada a escala regional da delimitação.

2.2. Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição

Ao abrigo do atual regime jurídico da REN, e no sentido de disponibilizar os critérios para a delimitação das diversas tipologias a nível municipal, foram aprovadas orientações estratégicas de âmbito nacional e regional através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro, retificada pela Declaração de Retificação n.º 71/2012, de 30 de novembro.

Relativamente às áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos, este diploma refere que a delimitação deve basear-se em modelos numéricos do escoamento subterrâneo. Atendendo a que não se dispõe de modelos calibrados para a maioria dos sistemas aquíferos em Portugal Continental, esta delimitação deve então ser efetuada com base no conceito de vulnerabilidade à poluição, partindo do princípio que as áreas mais vulneráveis são também as mais permeáveis que alimentam o aquífero.

Esta avaliação é realizada a partir do cálculo de três índices, de acordo com o tipo de aquífero (poroso, fissurado ou cársico) – Índice de Suscetibilidade, VULFRAC e EPIK. Atendendo aos meios hidrogeológicos existentes na área geográfica em estudo (poroso, misto e cársico), no presente trabalho são calculados apenas o Índice de Suscetibilidade e o EPIK, pelo que não se apresenta a metodologia relativa ao Índice VULFRAC.

2.2.1. Índice de Suscetibilidade

O Índice de Suscetibilidade (IS) apresentado por Ribeiro (2005) corresponde à soma ponderada de cinco parâmetros: profundidade da zona não saturada (D), recarga do aquífero (R), geologia do aquífero (A), topografia (T) e ocupação do solo (LU). Para efeitos de delimitação das áreas de recarga nos sistemas aquíferos porosos ou com dupla porosidade, como é o caso dos aquíferos com comportamentos mistos, e considerando o objetivo de identificar as áreas mais vulneráveis à poluição, excluindo quaisquer impactes associados à ocupação do solo, o índice considera apenas os

fatores relacionados com as características intrínsecas do meio hidrogeológico. Neste sentido, o parâmetro LU é retirado e os ponderadores dos outros quatro parâmetros são reestimados.

A **profundidade da zona não saturada (D)** corresponde à profundidade do topo do aquífero, traduzindo-se na distância vertical que um contaminante tem de percorrer para atingir o aquífero. O aumento desta distância faz com que seja maior a possibilidade de existir uma depuração completa por parte do solo atravessado, diminuindo a vulnerabilidade à poluição. Este parâmetro é determinado de acordo com as classes definidas no Quadro 4.

Quadro 4: Parâmetro “Profundidade da zona não saturada”

Classe (m)	Valor
<1,5	100
1,5 - 4,6	90
4,9 - 9,1	70
9,1 - 15,2	50
15,2 - 22,9	30
22,9 - 30,5	20
>30,5	10

A **recarga do aquífero (R)** corresponde à quantidade de água que chega anualmente ao aquífero através da precipitação que se escoia verticalmente até atingir o nível freático, fazendo aumentar a quantidade de água subterrânea armazenada. Este valor pode ser estimado através de vários métodos, sendo depois classificado de acordo com os valores apresentados no Quadro 5.

Quadro 5: Parâmetro “Recarga do aquífero”

Classe (mm)	Valor
<51	10
51 - 102	30
102 - 178	60
178 - 254	80
>254	90

O parâmetro **geologia do aquífero (A)** está associado à natureza e permeabilidade do material que constitui o aquífero, que por sua vez condiciona o grau de contaminação das águas subterrâneas. Os valores são atribuídos de acordo com as classes indicadas no Quadro 6.

Quadro 6: Parâmetro “Geologia do aquífero”

Classe	Valor	Valor típico
Xisto argiloso, argilito	10 - 30	20

Classe	Valor	Valor típico
Rocha metamórfica/ígneia	20 - 50	30
Rocha metamórfica/ígneia alterada	30 - 50	40
«Till» glacial	40 - 60	50
Arenito, calcário e argilitos estratificados	50 - 90	60
Arenito maciço	40 - 90	60
Calcário maciço	40 - 90	80
Areia e balastro	40 - 90	80
Balastro	20 - 100	90

A **topografia (T)** refere-se aos declives do terreno, associando-se a capacidade de infiltração à inclinação da superfície topográfica. Assim, declives mais suaves promovem uma maior infiltração e transporte dos contaminantes para as águas subterrâneas (Quadro 7).

Quadro 7: Parâmetro “Topografia”

Classe (%)	Valor
<2	100
2 - 6	90
6 - 12	50
12 - 18	30
>18	10

Após a determinação dos quatro parâmetros (D, R, A e T), o índice é calculado a partir da seguinte soma ponderada:

$$IS = 0,24D + 0,27R + 0,33A + 0,16T \quad (\text{equação 2})$$

Os valores obtidos são posteriormente classificados em função da sua vulnerabilidade, de acordo com o Quadro 8.

Quadro 8: Classes de vulnerabilidade do IS

IS	Vulnerabilidade
>90	Extremamente vulnerável
80 - 90	Muito elevada
70 - 80	Elevada
60 - 70	Moderada a alta
50 - 60	Moderada a baixa

IS	Vulnerabilidade
40 - 50	Baixa
30 - 40	Muito baixa
<30	Extremamente baixa

Quanto maiores forem os valores de IS obtidos, maior é a probabilidade de uma determinada área ser mais vulnerável à contaminação da água subterrânea e, como tal, constituir um local preferencial para a existência de recarga. Neste sentido, para efeitos de delimitação da REN consideram-se as áreas mais vulneráveis à poluição dos aquíferos porosos ou de dupla porosidade as que tomam a classificação de extremamente vulnerável a elevada.

2.2.2. EPIK

No caso dos sistemas aquíferos cársicos, a metodologia adotada baseia-se na aplicação do índice de vulnerabilidade EPIK, desenvolvido por Doerfliger e Zwahlen (1997) e que considera a geologia cársica dos aquíferos, a geomorfologia e as características hidrogeológicas, através da determinação de quatro parâmetros: epicarso (E), cobertura de proteção (P), condições de infiltração (I) e grau de desenvolvimento da rede cársica (K). O valor associado a cada um destes parâmetros é atribuído de acordo com uma classificação que considera o impacto potencial da poluição.

O parâmetro **epicarso (E)** é determinado atendendo à identificação, na área em estudo, dos aspetos da geomorfologia cársica enumerados no Quadro 9.

Quadro 9: Parâmetro “Epicarso”

Epicarso	Aspetos da geomorfologia cársica	Classificação
E1	Sumidouros, dolinas, afloramentos muito fraturados	1
E2	Zonas intermediárias no alinhamento de dolinas, vales secos, afloramentos com fraturação média	3
E3	Ausência	4

O parâmetro **cobertura de proteção (P)** refere-se à espessura de solo existente acima do aquífero cársico e à sua eventual capacidade de atenuação de contaminantes, sendo determinado de acordo com a classificação apresentada no Quadro 10.

Quadro 10: Parâmetro “Cobertura de proteção”

Cobertura de proteção	Espessura do solo acima do aquífero cársico	Classificação
P1	0 cm - 20 cm	1
P2	20 cm - 100 cm	2
P3	1 m - 8 m	3

Cobertura de proteção	Espessura do solo acima do aquífero cárstico	Classificação
P4	>8 m	4

As **condições de infiltração (I)** estão relacionadas com o tipo de recarga do aquífero cárstico, dependendo do declive da superfície topográfica e da existência de vegetação (Quadro 11).

Quadro 11: Parâmetro “Condições de infiltração”

Condições de infiltração	Tipo	Classificação
I1	Cursos de água de caráter perene ou temporário que alimentam sumidouros e dolinas	1
I2	Áreas em bacias hidrográficas com inclinação >10% em áreas cultivadas e >25% em prados e pastagens	2
I3	Áreas em bacias hidrográficas com inclinação <10% em áreas cultivadas e <25% em prados e pastagens	3
I4	A restante área da bacia hidrográfica	4

Relativamente ao parâmetro I, o método permite quantificar apenas as condições de infiltração quando a existência de vegetação está relacionada com áreas cultivadas ou prados e pastagens. No sentido de aplicar a metodologia em áreas caracterizadas por espaços florestais, foram apresentados novos critérios em Robu (2009), sendo consideradas as classes identificadas no Quadro 12. Esta modificação da metodologia originalmente definida por Doerfliger e Zwahlen (1997) não está contemplada na Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro, retificada pela Declaração de Retificação n.º 71/2012, de 30 de novembro, no entanto poderá equacionar-se a sua utilização em situações em que na área em estudo predominam os espaços florestais.

Quadro 12: Parâmetro “Condições de infiltração” (Robu, 2009)

Condições de infiltração	Tipo	Classificação
I1	Cursos de água de caráter perene ou temporário que alimentam sumidouros e dolinas	1
I2	Áreas em bacias hidrográficas com inclinação <10% em áreas cultivadas, <25% em prados e pastagens e <35% em florestas	2
I3	Áreas em bacias hidrográficas com inclinação >10% em áreas cultivadas, >25% em prados e pastagens e >35% em florestas	3
I4	A restante área da bacia hidrográfica	4

O último fator considerado relevante para a avaliação da vulnerabilidade em aquíferos cárlicos é o **grau de desenvolvimento da rede cárlica (K)**, que se pode classificar de muito desenvolvido até situações em que não há evidências de carsificação, tal como indicado no Quadro 13.

Quadro 13: Parâmetro “Grau de desenvolvimento da rede cárlica”

Rede cárlica	Grau de desenvolvimento	Classificação
K1	Moderado a muito desenvolvido	1
K2	Fraco	2
K3	Aquíferos sem carsificação	3

Após a determinação dos quatro parâmetros (E, P, I e K) é calculado o índice, através da seguinte equação:

$$EPIK = 3E_i + P_j + 3I_k + 2K_l \quad (\text{equação 3})$$

Os valores obtidos são classificados em função da sua vulnerabilidade (Quadro 14), considerando-se para efeitos de delimitação da REN que as áreas mais vulneráveis à poluição dos aquíferos cárlicos correspondem às classes de vulnerabilidade muito alta a alta.

Quadro 14: Classes de vulnerabilidade do EPIK

EPIK	Vulnerabilidade
≤ 19	Muito alta
20 - 25	Alta
> 25	Moderada a baixa

3. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização geográfica

A área em estudo corresponde ao concelho de Óbidos, pertencente ao distrito de Leiria e incluído na região Oeste (Figura 1).

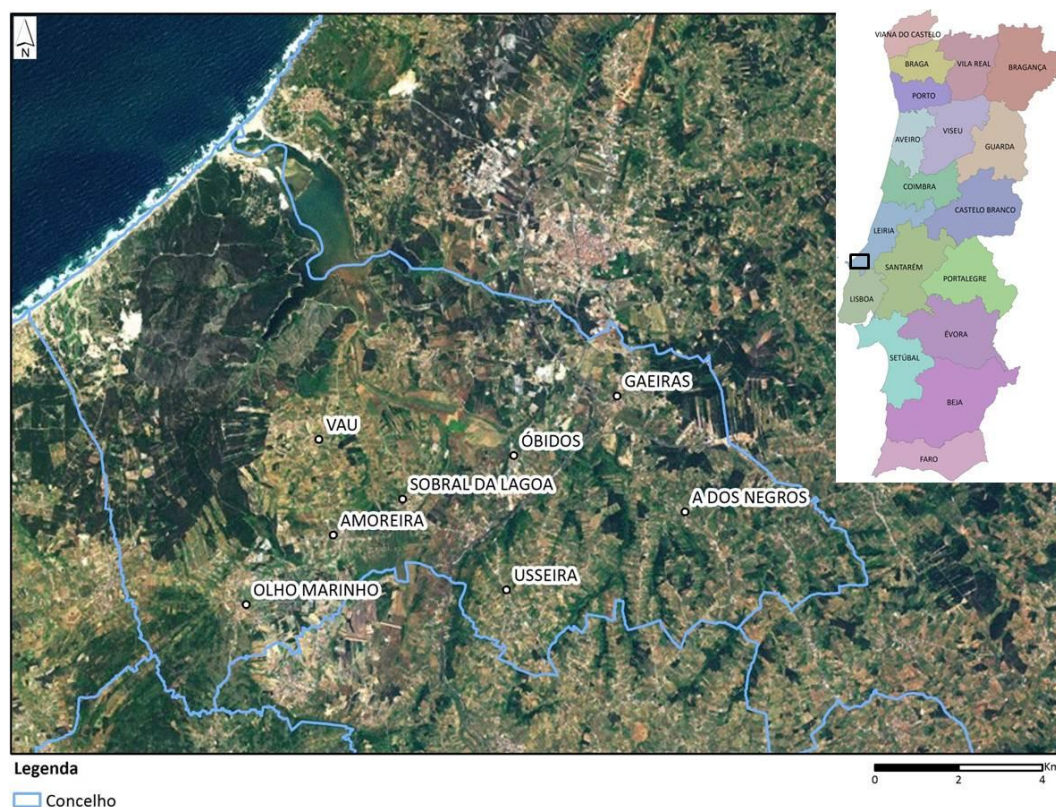


Figura 1: Enquadramento geográfico da área de estudo (imagem de satélite obtida através do ArcGIS Online).

O concelho é abrangido por cinco folhas da Carta Militar de Portugal à escala 1:25.000, designadamente: 325AB (Berlengas/Casais dos Covões), 326 (Caldas da Rainha), 337 (Peniche), 338 (Óbidos) e 339 (Rio Maior).

3.2. Geologia

3.2.1. Contexto geológico

A região de Óbidos encontra-se num contexto geológico relacionado com a evolução das bacias meso-cenozóicas portuguesas, inserindo-se na Orla Mesocenozóica Ocidental, conhecida como Bacia Lusitaniana, que corresponde a uma depressão alongada com direção NNE-SSW, cuja abertura

coincide com os primeiros estádios da abertura do Atlântico (Figura 2). Esta bacia é limitada a leste pela falha Porto-Coimbra-Tomar, que a separa do Maciço Hespérico, e a oeste por um *horst* hercínico, materializado atualmente pelos granitos e rochas metamórficas do arquipélago das Berlengas. O bordo sul é limitado pela falha da Arrábida, existindo a norte o confinamento com a Bacia do Porto (Kulberg *et al.*, 2006).

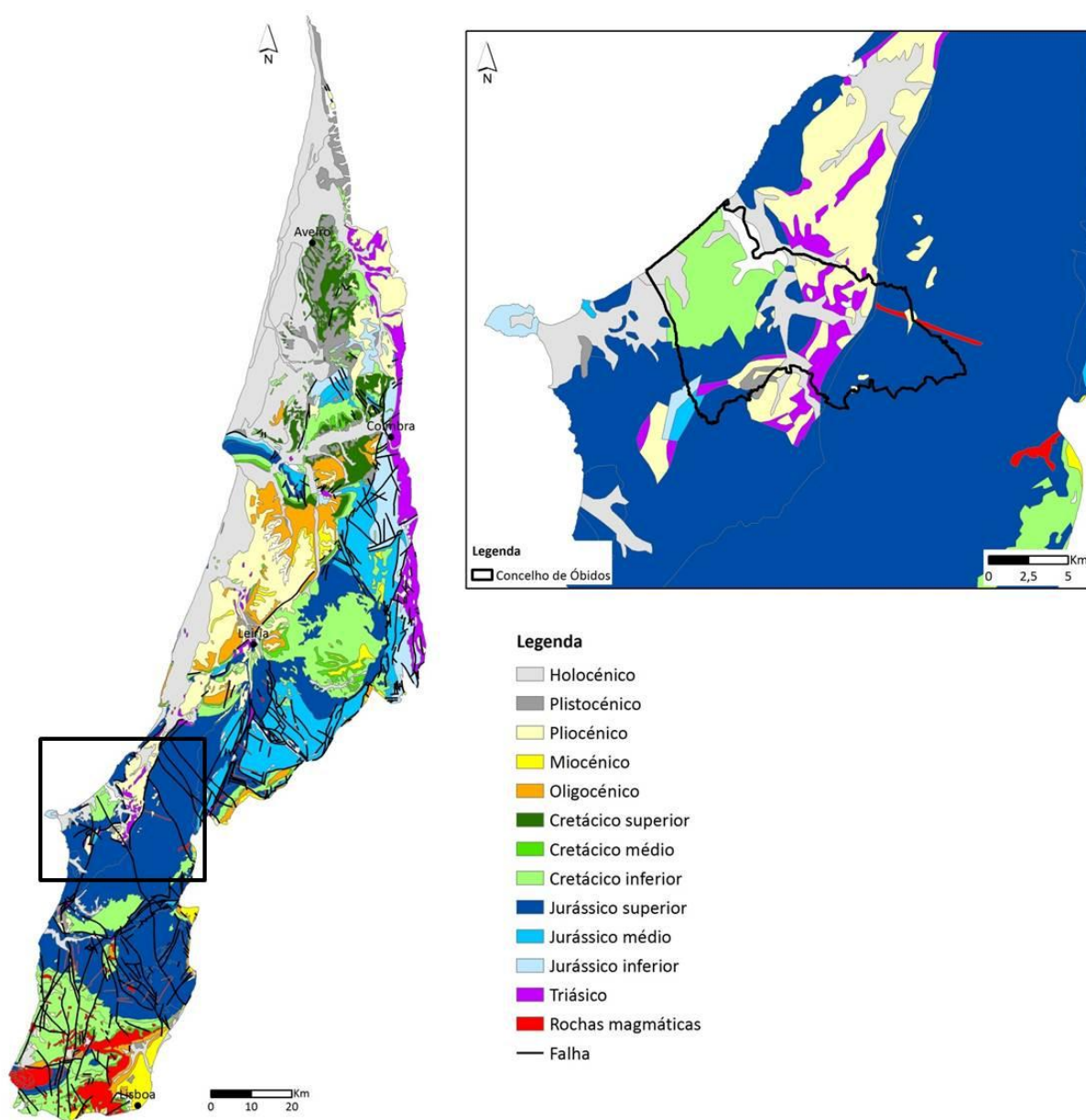


Figura 2: Enquadramento geológico da área de estudo (informação geológica à escala 1:500.000 adaptada do Atlas do Ambiente, cedida pela ARH Tejo e Oeste).

De acordo com Ribeiro *et al.* (1979), a fraturação dominante na bacia apresenta três orientações preferenciais: NNE-SSW, coincidente com os principais alinhamentos diapíricos, ENE-SSW, paralela aos acidentes de orientação bética, e NW-SE, orientação das falhas secundárias no interior dos blocos limitados pelos acidentes maiores.

Os sedimentos depositados a partir do Triásico apresentam uma espessura máxima de 5 km, sendo a Formação dos Grés de Silves a mais antiga do conjunto sedimentar. O Jurássico é formado por uma sequência essencialmente carbonatada, com alternâncias de calcários, margas, calcários margosos e calcários dolomíticos, sendo o Cretácico constituído por séries detríticas e carbonatadas. Superiormente encontram-se os sedimentos cenozóicos, formados sobretudo por depósitos detríticos.

No que respeita concretamente ao concelho de Óbidos, a área é caracterizada fundamentalmente por terrenos sedimentares de natureza carbonatada e detrítica, formados a partir do Jurássico inferior, pertencendo estrutural e estratigraficamente à área normalmente designada por Vale Tifónico das Caldas da Rainha.

3.2.2. Litostratigrafia

A área em estudo é abrangida pelas Folhas 26-C (Peniche) e 26-D (Caldas da Rainha) da Carta Geológica de Portugal Continental à escala 1:50.000, tendo sido adotadas as respetivas designações das formações geológicas presentes no concelho.

A Figura 3 representa a carta geológica da área em estudo, onde afloram formações do Jurássico inferior ao Holocénico.

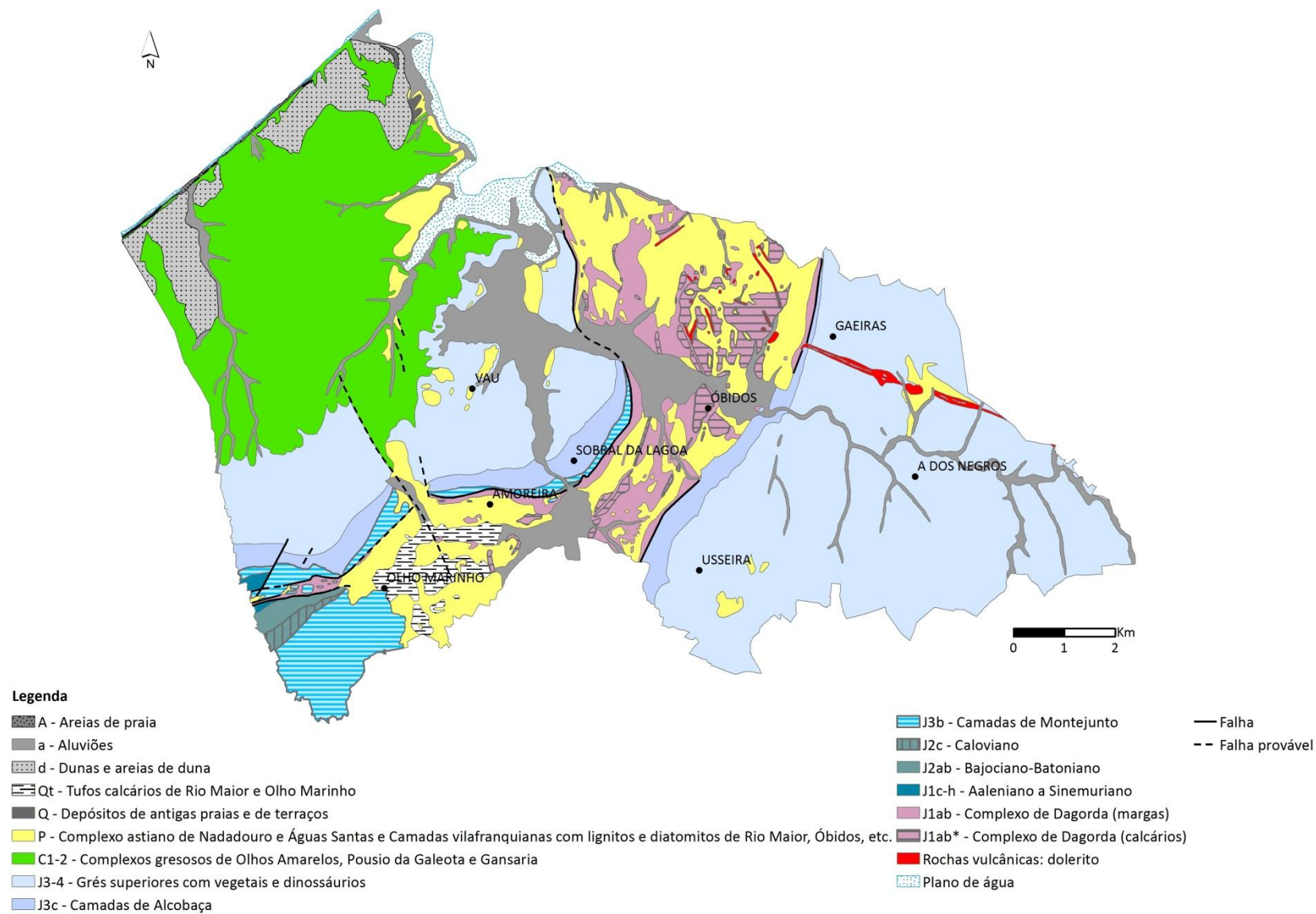


Figura 3: Carta geológica do concelho de Óbidos (adaptada da Carta Geológica de Portugal Continental à escala 1:50.000).

Jurássico

A formação mais antiga presente na área em estudo é o Complexo da Dagorda, constituído por margas e argilas salíferas e por margas gresosas avermelhadas, por vezes acinzentadas ou esverdeadas. Frequentemente ocorrem evaporitos (halite, gesso, anidrite) e intercalação de calcários margosos e de calcários dolomíticos, que formam alinhamentos de cabeços no meio do vale tifónico. Este complexo pertence à base do Jurássico (Hetangiano) e aflora no vale tifónico de Caldas da Rainha: nos bordos, onde está em contacto com as camadas da cobertura jurássica, e no centro, onde forma retalhos de forma e extensão variáveis (Zbyszewski *et al.*, 1960).

De acordo com Zbyszewski (1959), nesta área o complexo hetangiano ocorre em dois tipos de afloramento. Nos afloramentos ocidentais observam-se alinhamentos dolomíticos em margas gesso-salíferas vermelhas, mais ou menos paralelos à direção geral do Vale Tifónico, cortados por acidentes transversais NNW-SSE e com inclinações muito variáveis, provavelmente devido à existência de um intenso dobramento que tem como origem a ascensão do material até à superfície. Nos afloramentos centrais e orientais observa-se um afloramento calcário-dolomítico de forma irregular, cortado por filões bastante alterados e com inclinações também muito variáveis, relacionadas com a ascensão das margas salíferas e, parcialmente, com a deformação provocada por falhas de orientação NE-SW, não estando associadas à instalação de filões doleríticos.

Estratigraficamente acima do Complexo da Dagorda identifica-se uma série sedimentar correspondente ao restante Jurássico inferior (Sinemuriano, Pliensbaquiano, Toarciano) e à base do Jurássico médio (Aaleniano), com representação cartográfica reduzida na área de estudo. É de natureza essencialmente calco-margosa, sendo constituída por alternâncias de calcários dolomíticos, calcários margosos, calcários compactos e margas (Camarate França *et al.*, 1960). Na área em estudo aflora numa extensão muito reduzida, a norte do planalto da Cesareda.

Ao Jurássico médio (Caloviano, Batoniano e Bajociano) está associada uma sequência carbonatada, constituída essencialmente por calcários cristalinos, calcários oolíticos, calcários compactos, calcários dolomíticos e margosos. No planalto da Cesareda identificam-se calcários e calcários margosos, fossilíferos, por vezes com nódulos siliciosos e fósseis silicificados (Zbyszewski *et al.*, 1960). Na zona de Sobral da Lagoa aflora nas duas margens do Rio Real, observando-se calcários relativamente compactos, com algumas intercalações de níveis calciclásticos e margosos (Azerêdo *et al.*, 2006).

O Jurássico superior (Kimeridgiano) inicia-se por uma formação carbonatada constituída por alternância de calcários, margas e calcários margosos, as Camadas de Montejunto, que afloram na zona de Sobral da Lagoa e no Planalto da Cesareda. A esta formação seguem-se as Camadas de Alcobaça, que afloram na área em estudo ao longo dos bordos do vale tifónico, caracterizando-se por uma sequência de calcários, margas e calcários margosos, muito fossilíferos com intercalações de calcários oolíticos e de arenitos. Esta formação encontra-se normalmente coberta pelos Grés superiores com vegetais e dinossáurios, um conjunto sedimentar essencialmente detrítico, formado na parte superior por conglomerados e arenitos vermelhos e amarelos, com cimento argiloso, e na parte inferior por arenitos avermelhados, muito argilosos e bem estratificados (Zbyszewski *et al.*, 1960).

Cretácico

Na área oeste do concelho aflora uma sequência detrítica do Cretácico inferior a médio, designada por Complexos gresosos de Olhos Amarelos, Pousio da Galeota e Gansaria. É constituída por grés caulíníferos, finos a grosseiros, esbranquiçados ou amarelados, com calhaus rolados, acompanhados por lenticulas ou leitos de argilas acinzentadas ou arroxeadas, contendo por vezes restos de vegetais (Camarate França *et al.*, 1960; Zbyszewski *et al.*, 1960).

De acordo com Rey & Dinis (2004), a alternância de níveis de arenitos finos com arenitos grosseiros ou mesmo conglomeráticos é comum em toda a sequência cretácica, verificando-se que os níveis mais finos podem por vezes apresentar compactação devido à cimentação ocorrida.

Pliocénico

Formado por areias com clastos rolados e grés argilosos, lenticulas de cascalheiras roladas e lenticulas de argilas, mais ou menos micáceas, intercaladas com areias e grés, por vezes ferruginosos, que passam superiormente a depósitos de praia (atribuídos ao Vilafranquiano), diatomitos e lignitos (Zbyszewski, 1959).

Este conjunto é designado por Complexo astiano de Nadadouro e Águas Santas e Camadas vilafranquianas com lignitos e diatomitos de Rio Maior, Óbidos, etc. e constitui o principal material de preenchimento do vale tifónico, onde assenta sobre o complexo evaporítico hetangiano (Zbyszewski *et al.*, 1960).

Localmente, esta formação é coberta por depósitos aluvionares e, na superfície aplanada de Olho Marinho, por tufos calcários.

Quaternário

Inclui os depósitos modernos constituídos pelas aluviões, areias de praia, areias de duna, tufos calcários e depósitos plistocénicos de antigas praias e de terraços.

As aluviões apresentam maior extensão e representatividade nos vales do Rio Arnóia e do Rio Real, constituindo depósitos de pequena espessura formados, essencialmente, por lodos e areias, por vezes com calhaus rolados. Na parte E do concelho e na área do vale tifónico as aluviões são, regra geral, arenosas formadas a partir da erosão dos grés do Jurássico superior e das areias pliocénicas (Zbyszewski *et al.*, 1960).

No litoral, a N e W da Lagoa de Óbidos, identificam-se as dunas e areias de duna bem calibradas, que se encontram a cobrir o complexo detrítico do Cretácico, assim como as areias de praia, que apresentam pouco desenvolvimento na área em estudo.

Os tufos calcários de Rio Maior e Olho Marinho constituem um extenso afloramento que se desenvolve entre Olho Marinho e Amoreira, formando o enchimento da parte terminal do vale tifónico. Formaram-se a partir da exurgência do maciço calcário da Cesareda, a nascente do Olho Marinho, encontrando-se cobertos em algumas áreas por areias de transporte torrencial, por vezes com calhaus rolados. Têm uma espessura máxima de 15 metros e apresentam uma fração fina e teores de matéria orgânica variáveis (Santos, 1999).

Os depósitos de antigas praias e de terraços são constituídos essencialmente por areias e cascalheiras, aflorando em pequenas áreas junto ao litoral e à Lagoa de Óbidos. Apresentam características muito semelhantes aos depósitos pliocénicos, tornando difícil a sua distinção (Zbyszewski *et al.*, 1960).

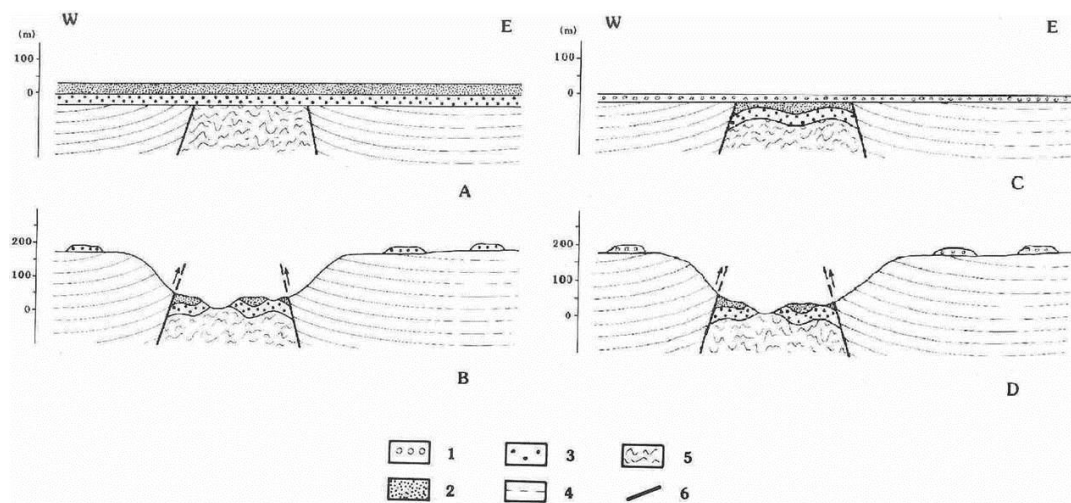
Rochas vulcânicas

No concelho de Óbidos existem numerosos filões de orientação variável e pequenas chaminés que atravessam o Complexo de Dagorda. Deste conjunto destaca-se o filão das Gaeiras, que também atravessa os Grés Superiores, apresentando uma extensão de cerca de 6 km (Zbyszewski *et al.*, 1960).

3.2.3. Tectónica

A tectónica tem um papel relevante na caracterização geológica do concelho de Óbidos, atendendo à importância da estrutura diapírica das Caldas da Rainha na região. A génese da estrutura está relacionada com a ocorrência de falhas profundas que afetam o soco hercínico e com a presença do complexo evaporítico hetangiano, cuja ascensão deformou e perfurou a cobertura sedimentar.

De acordo com a interpretação atual (Cabral, 1995), a depressão morfológica designada como vale tifónico das Caldas da Rainha, de orientação geral NNE-SSW, foi constituída posteriormente à deposição das areias com lignitos e diatomitos do Pliocénico, tendo estes depósitos sido preservados no interior da depressão devido à elevação de ambos os bordos (Figura 4).



Modelos alternativos de evolução dos diapiros do litoral estreito para depressões tectónicas («vales tifónicos») no Pliocénico terminal e Quaternário (A-B, ou A-C-D). Esquemas fora de escala, muito sobrelevados. As altitudes representadas na escala vertical referem-se ao nível de base geral contemporâneo da fase evolutiva correspondente. 1, areias azóicas com pequenos calhaus rolados («bichouros») (Pliocénico terminal, -2/-1,6 Ma?); 2, sedimentos argilo-arenosos, lignitosos e diatomíticos (Pliocénico superior, -3/-2,5 Ma?); 3, areias marinhas fossilíferas (Pliocénico superior, -3,5/-2,7 Ma); 4, formações mesozóicas encaixantes, consistindo predominantemente em calcários jurássicos; 5, margas gipsíferas e salíferas dos núcleos diapíricos (Liásico inferior); 6, falha de bordo do diapiro com sentido da componente de movimentação segundo a inclinação indicada pelas setas.

Figura 4: Modelos explicativos da evolução dos vales tifónicos da Orla Ocidental (Cabral, 1995).

Apesar da importância da estrutura diapírica na área em estudo, refere-se ainda a existência de várias falhas, nomeadamente:

- Falhas transversais ao vale tifónico;
- Falha da Serra d'El-Rei, que corresponde ao limite N do maciço da Cesareda;
- Falhas paralelas à linha de costa, das quais se destaca nesta área a falha da Esteveira.

3.3. Geomorfologia

No concelho de Óbidos individualizam-se várias unidades geomorfológicas, cujas características são fortemente influenciadas pelo tipo de formações geológicas existentes e pelas estruturas tectónicas anteriormente referidas. Atendendo às áreas definidas por Azerêdo *et al.* (2006) e considerando os aspetos geológicos e morfológicos observados em campo, individualizam-se as seguintes unidades (Figura 5):

- Vale tifónico das Caldas da Rainha;
- Planalto da Cesareda;
- Plataforma cretácica do Bom Sucesso;
- Lagoa de Óbidos e Arribas Litorais;
- Relevos jurássicos.

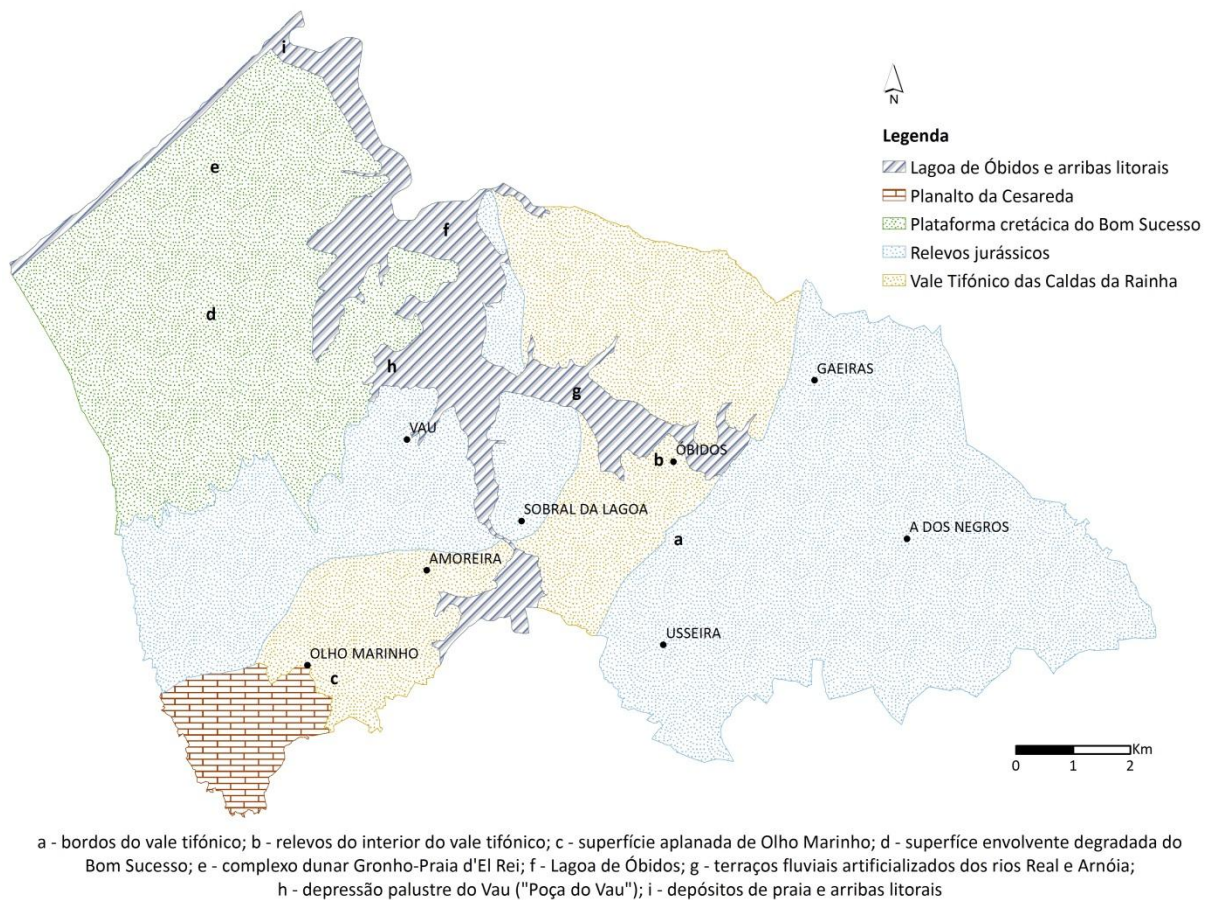


Figura 5: Unidades geomorfológicas identificadas no concelho de Óbidos (adaptado de Azerêdo *et al.*, 2006).

Nestas unidades destacam-se os seguintes aspetos geomorfológicos:

Vale tifónico das Caldas da Rainha:

- Bordos do vale tifónico – relevo caracterizado por um rebordo em costeira, com assimetria no pendor dos flancos. O Complexo da Dagorda é visível na base da vertente, identificando-se no topo os calcários e margas do Jurássico médio e superior;
- Relevos do interior do vale tifónico – afloramentos localizados no interior do vale tifónico, constituídos por calcários dolomíticos do Complexo da Dagorda, que oferecem maior resistência à erosão relativamente às margas e argilas salíferas (Figura 6);
- Superfície aplanada de Olho Marinho – área com topografia aplanada localizada na parte terminal do vale tifónico, que resulta da sedimentação de tufos calcários formados a partir da exsurgência de água subterrânea do aquífero da Cesareda (nascente do Olho Marinho) (Figura 7).



Figura 6: Relevos do interior do vale tifónico, constituídos por calcários dolomíticos do Complexo da Dagorda, que oferecem maior resistência à erosão relativamente às margas e argilas salíferas.



Figura 7: Superfície aplanada de Olho Marinho, observada a partir do Planalto da Cesareda.

Planalto da Cesareda:

- Superfície de aplanção bem conservada constituída por formações carbonatadas do Jurássico, com evidências de carsificação (Figura 8). Em algumas zonas do planalto é possível observar lapas, grutas e galerias, instaladas ao longo de descontinuidades. No limite norte observa-se o desnível originado pela falha da Serra d’El-Rei.



Figura 8: Carsificação observada junto à nascente do Olho Marinho.

Plataforma cretácica do Bom Sucesso:

- Superfície envolvente degradada do Bom Sucesso – superfície de aplanção relativamente extensa, degradada pelo encaixe da rede de drenagem;
- Complexo dunar Gronho-Praia d’El Rei – formado a partir da sedimentação eólica de areias de idade plisto-holocénica.

Lagoa de Óbidos e Arribas Litorais:

- Lagoa de Óbidos – laguna costeira pouco profunda constituída a montante por dois braços, o Braço da Barrosa da margem norte e o Braço do Bom Sucesso na margem sul, entre os quais desaguam o rio Arnóia e o rio Real, que são responsáveis por grande parte da afluência de água doce à Lagoa;
- Terraços fluviais artificializados dos rios Real e Arnóia – áreas aplanadas adjacentes às margens das principais linhas de água afluentes à Lagoa de Óbidos, constituindo antigos terraços fluviais de inundação marcados atualmente pela atividade humana;
- Depressão palustre do Vau (“Poça do Vau”) – depressão relacionada com o assoreamento de uma região inundada de baixa profundidade que prolongava a Lagoa de Óbidos para sul;

- Depósitos de praia e Arribas Litorais – sub-unidade dividida em duas áreas, uma a norte da Lagoa de Óbidos, caracterizada por arribas muito inclinadas e cortadas em arenitos do Jurássico superior, e outra a sul da Lagoa, formada por arribas que baixam de altitude a sul.

Relevos jurássicos:

- Unidade formada pelo conjunto sedimentar detrítico do Jurássico superior e dividida pelo vale tifónico, constituindo uma plataforma degradada marcada pela rede de drenagem e a inclinar ligeiramente para leste na área a este do vale tifónico e para NW na área a oeste do vale. Individualiza-se ainda a zona de Sobral da Lagoa, que constitui um relevo em costeira de extensão curta onde afloram as Camadas de Alcobaça, separando duas unidades anteriormente descritas – a Lagoa de Óbidos e o vale tifónico das Caldas da Rainha.

Relativamente à rede de drenagem, salientam-se as duas principais linhas de água na área de estudo, o rio Arnóia e o rio Real, que atravessam o vale tifónico e às quais estão associadas as principais manchas aluvionares existentes no concelho. Estas linhas de água apresentam vales encaixados com vertentes de inclinações acentuadas na área este do concelho e quando atravessam o bordo do vale tifónico, observando-se vales amplos quando são atravessadas litologias mais brandas (Figura 9).



Figura 9: Modelo digital de terreno da área abrangida pelo concelho de Óbidos e rede de drenagem, de acordo com a Carta Militar de Portugal à escala 1:25.000.

3.4. Hidrogeologia

3.4.1. Contexto hidrogeológico

O concelho de Óbidos insere-se na Orla Ocidental que, tal como referido anteriormente, é constituída essencialmente por rochas detríticas e carbonatadas que dão origem a sistemas aquíferos importantes e com comportamento hidrogeológico diverso (Figura 10).

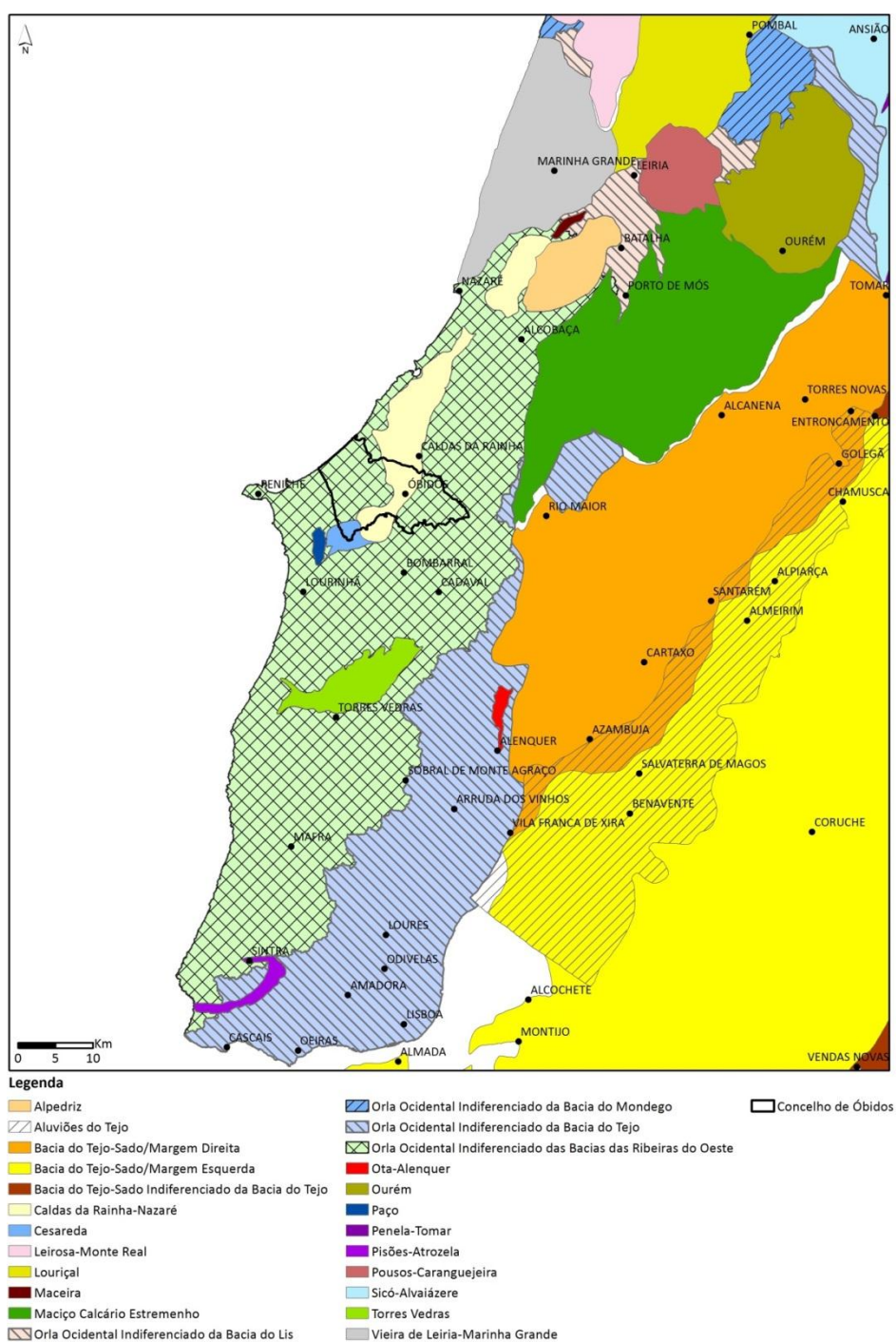


Figura 10: Enquadramento hidrogeológico regional, com delimitação das massas de água subterrânea.

Na área em estudo identificam-se três massas de água subterrânea, delimitadas no âmbito da implementação da Diretiva Quadro da Água (Diretiva n.º 2000/60/CEE, de 23 de outubro), designadamente: Caldas da Rainha-Nazaré, Cesareda e Orla Ocidental Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste (Figuras 10 e 11).

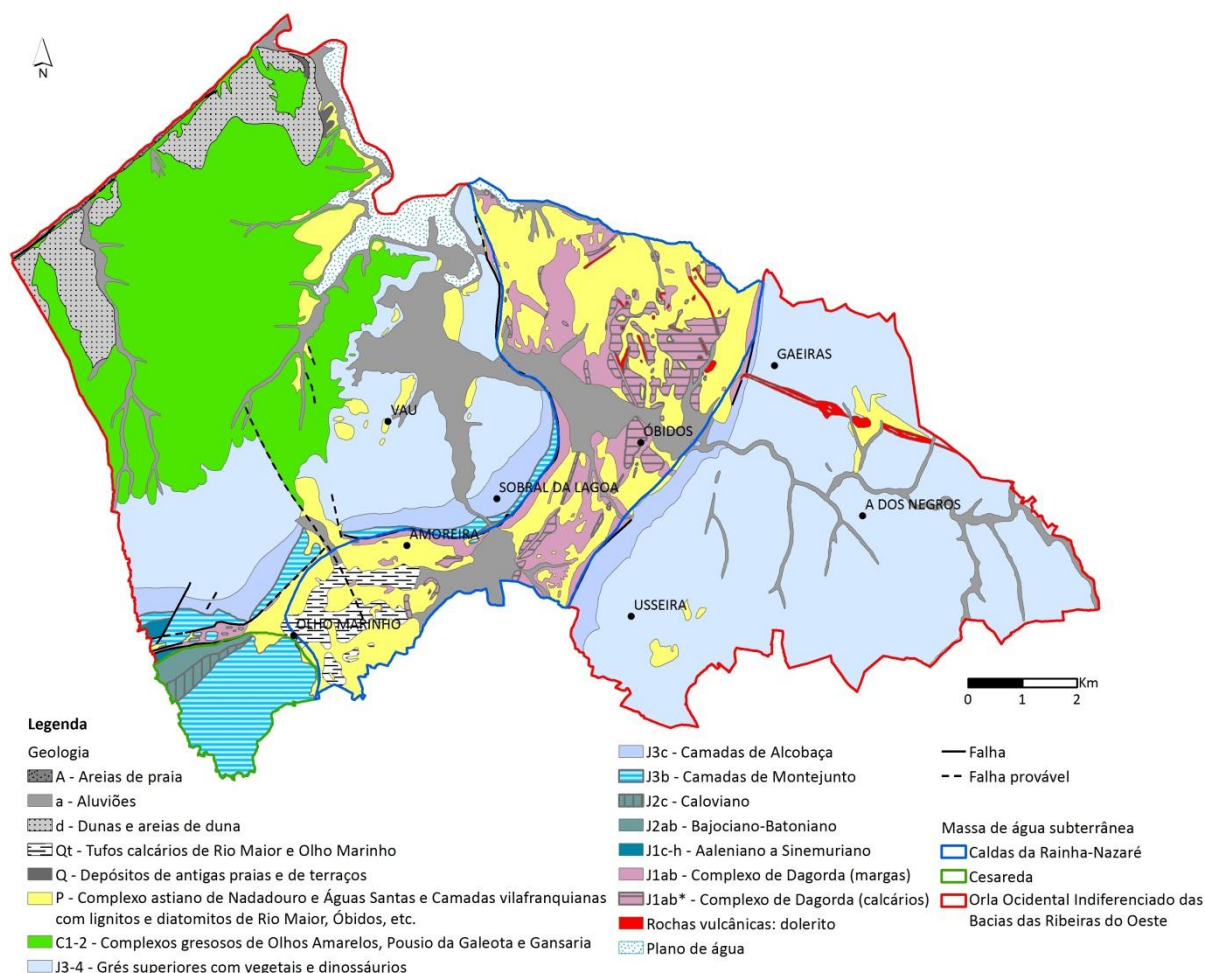


Figura 11: Massas de água subterrânea delimitadas no concelho de Óbidos, representadas sobre a carta geológica.

A variabilidade litológica e a influência da tectónica salífera nesta região propiciam a existência de massas de água com diferentes meios hidrogeológicos e características distintas.

3.4.2. Caldas da Rainha-Nazaré

Originalmente definida como sistema aquífero em 1997 (INAG, 1997), a massa de água Caldas da Rainha-Nazaré é constituída pelos depósitos que preencheram o vale tifónico das Caldas da Rainha.

De acordo com Almeida *et al.* (2000), a formação aquífera dominante corresponde às areias pliocénicas, que assentam sobre o complexo evaporítico hetangiano, cobertas em alguns locais por depósitos aluvionares e, na superfície aplanada de Olho Marinho, por tufo calcários.

A geometria dos depósitos que constituem o suporte do aquífero está relacionada com a génese da estrutura diapírica, sendo muito variável em toda a extensão da massa de água. A sua espessura é condicionada pela existência de intrusões evaporíticas, que alteram as condições de circulação da água subterrânea, apresentando valores mais elevados, superiores a 100 m, na zona de Alfeizerão (concelho de Alcobaça). Mais concretamente na área em estudo observam-se espessuras menores, tendo sido registado um valor de 45 m na área de Gaeiras, de acordo com INAG (2001).

Trata-se de um sistema poroso, multicamada, livre a confinado, efetuando-se a recarga a partir da precipitação ou através de linhas de água influentes. A recarga desta massa de água foi calculada no âmbito do Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste, com base no modelo BALSEQ_MOD, desenvolvido em Oliveira (2004), sendo o resultado desse cálculo apresentado na Figura 12. Ainda de acordo com ARH Tejo (2011), e considerando uma precipitação anual média de 761 mm, estima-se para esta massa de água uma taxa de recarga de 29% (36,07 hm³/ano).

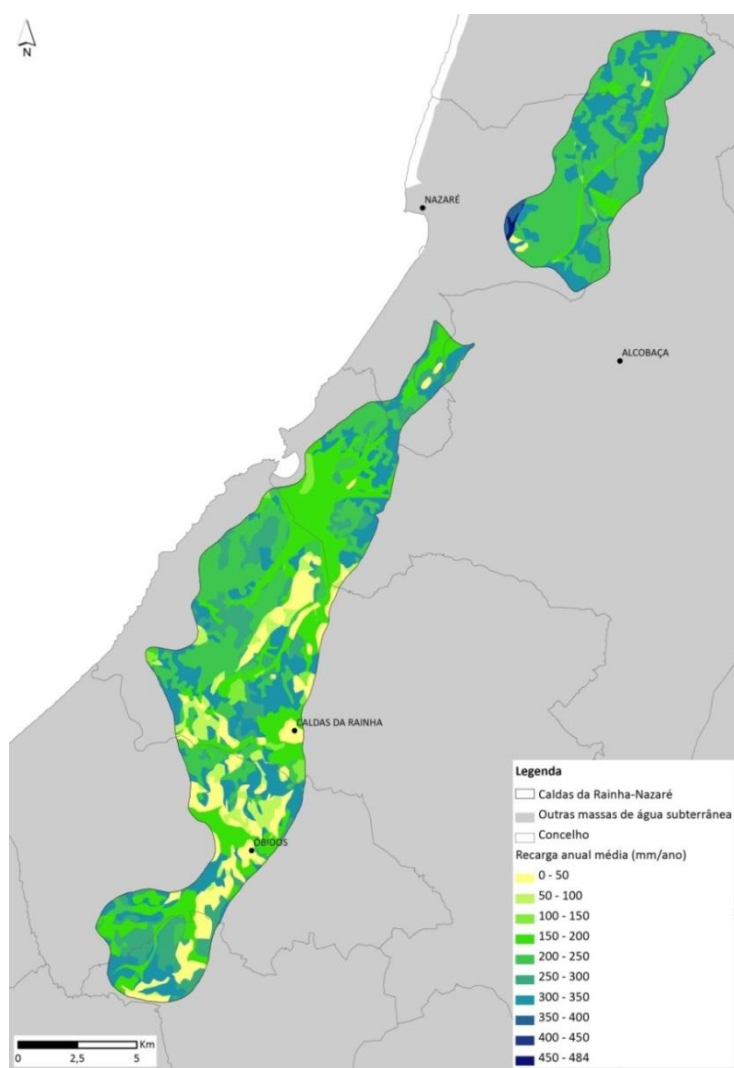


Figura 12: Recarga da massa de água subterrânea Caldas da Rainha-Nazaré (dados cedidos pela ARH Tejo e Oeste).

A produtividade das areias pliocénicas é condicionada pela espessura da formação, verificando-se menores rendimentos específicos à medida que o complexo hetangiano ocorre a menor profundidade (Saraiva e Peixinho de Cristo, 1994).

3.4.3. Cesareda

O maciço calcário da Cesareda foi designado como sistema aquífero em 1997, à semelhança da massa de água Caldas da Rainha-Nazaré, tendo sido novamente caracterizado por Almeida *et al.* (2000). De acordo com estes autores, o aquífero desenvolve-se nos calcários do Jurássico médio e superior (Bajociano-Batoniano, Caloviano e Camadas de Montejunto), que formam um planalto com limites bem definidos principalmente a norte, através da falha da Serra d'El-Rei, e a oeste, onde são identificadas algumas falhas que constituem o prolongamento para sul do limite leste do vale tifónico, separando o maciço do diapiro de Bolhos através de uma escarpa.

Trata-se de um sistema cársico, com várias cavidades e depressões, estimando-se em cerca de 200 m a espessura total das formações aquíferas. A recarga resulta da infiltração direta da precipitação, com o escoamento subterrâneo a efetuar-se na direção das áreas de descarga conhecidas: a nascente do Olho Marinho e exsurgências temporárias na aldeia do Pó e no vale da Columbeira. Admite-se ainda que existam outras saídas do sistema que alimentam o aquífero do Paço, situado a oeste desta massa de água, e as nascentes minerais do diapiro do Vimeiro (Almeida *et al.*, 2000).

Com base nos resultados do modelo BALSEQ_MOD (Oliveira, 2004) calculados no Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste, a recarga desta massa de água apresenta a distribuição espacial ilustrada na Figura 13. De acordo com ARH Tejo (2011), e considerando uma precipitação anual média de 700 mm, estima-se para esta massa de água uma taxa de recarga de 61% (7,19 hm³/ano).

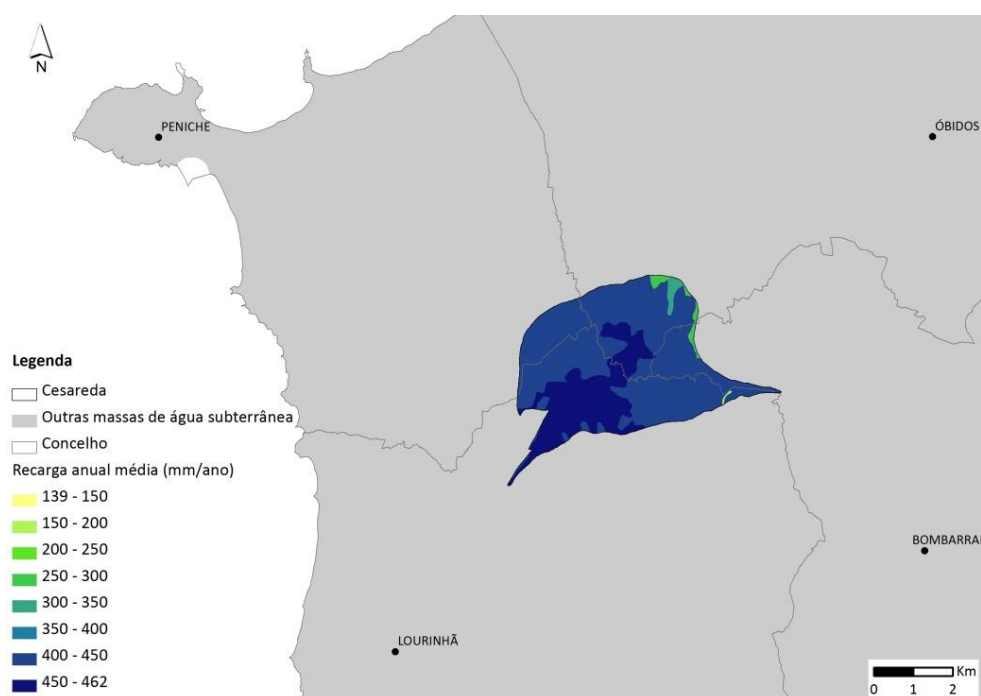


Figura 13: Recarga da massa de água subterrânea Cesareda (dados cedidos pela ARH Tejo e Oeste).

A facilidade com que se processa a recarga e o escoamento subterrâneo no sistema, através das estruturas cársticas, tornam esta massa de água vulnerável à poluição, dado o reduzido poder autodepurador e a rápida propagação de contaminantes.

3.4.4. Orla Ocidental Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste

A massa de água designada por Orla Ocidental Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste corresponde ao conjunto de terrenos com aquíferos indiferenciados que, devido às suas características ou ausência de conhecimento, não foram incluídos ou classificados em sistemas aquíferos.

Assim, toda a restante área do concelho de Óbidos que não está abrangida pelos aquíferos de Caldas da Rainha-Nazaré e Cesareda inclui-se nesta massa de água, que compreende as Camadas de Alcobaça, os Grés superiores do Jurássico, o complexo gresoso do Cretácico e as formações mais recentes do Quaternário. Contudo, nesta massa de água é possível individualizar uma área definida como sistema aquífero em 1997 (INAG, 1997), classificação que não foi mantida por Almeida *et al.* (2000), e considerada no Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste (INAG, 2001) como área com potencial hidrogeológico, designada de Lagoa de Óbidos (Figura 14).

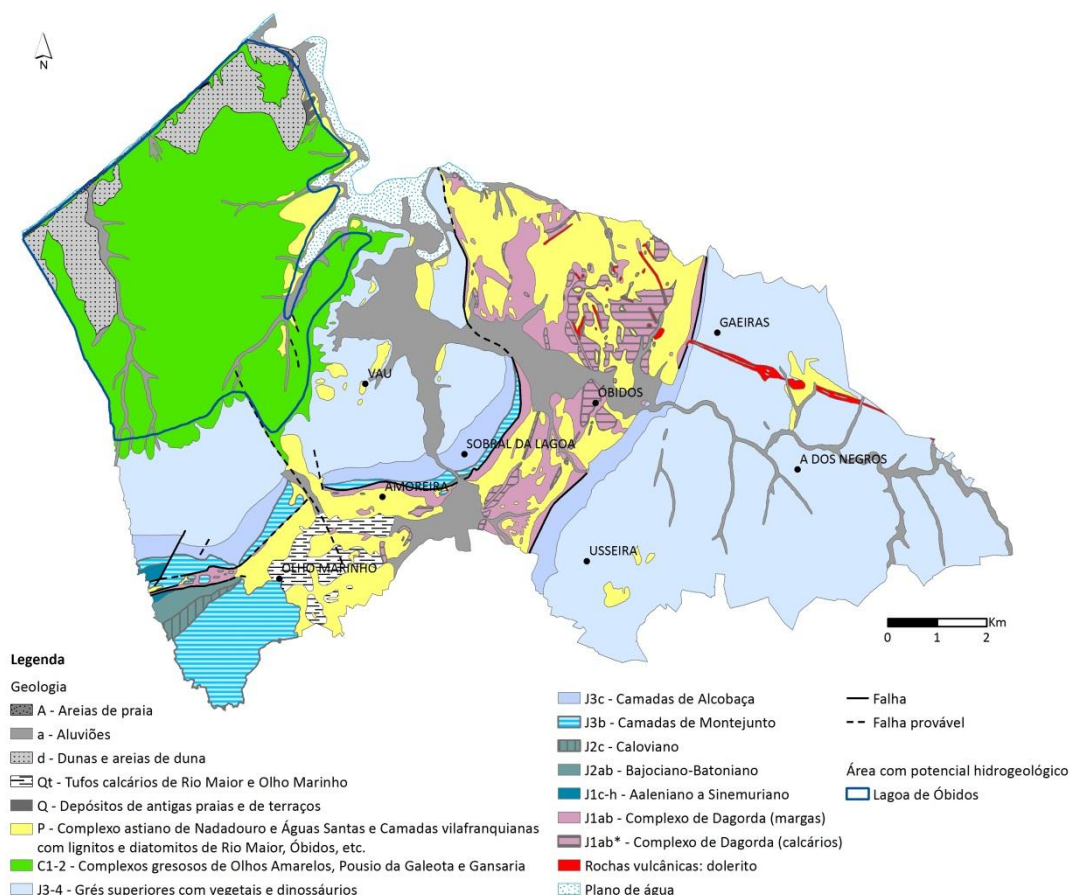


Figura 14: Localização da área com potencial hidrogeológico designada de Lagoa de Óbidos.

Dada a extensão que ocupam na área abrangida pelo concelho de Óbidos, destacam-se nesta massa de água as formações detríticas do Jurássico superior e do Cretácico, onde se verificam variações das condições hidrogeológicas.

Os grés superiores do Jurássico constituem uma formação muito heterogénea, com intercalações argilosas e variações laterais significativas. Atendendo a estas características admite-se que o seu funcionamento hidrogeológico seja similar ao dos meios porosos, podendo em algumas áreas considerar-se misto (poroso/fissurado). Dependendo das condições litológicas, em determinados locais esta formação pode funcionar como aquífero confinado ou multicamada.

O complexo gresoso cretácico constitui a formação aquífera dominante da área com potencial hidrogeológico designada por Lagoa de Óbidos, podendo atingir espessuras de cerca de 250 m (INAG, 1997). É constituída por materiais essencialmente areníticos, intercalados por níveis conglomeráticos e lenticulas de argila, constituindo o suporte de um aquífero poroso, em geral multicamada, livre a confinado. De acordo com INAG (2001), o escoamento subterrâneo processa-se em direção ao mar e à Lagoa de Óbidos.

Nestas áreas a recarga faz-se através de infiltração direta da precipitação e, no caso do complexo gresoso cretácico, por drenância das areias de duna. A recarga desta massa de água foi calculada no âmbito do Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste, com base no modelo BALSEQ_MOD (Oliveira, 2004), sendo o resultado desse cálculo apresentado na Figura 15. Considerando uma precipitação anual média de 764 mm, estima-se para esta massa de água uma taxa de recarga de 16%, correspondente a 213,61 hm³/ano (ARH Tejo, 2011).

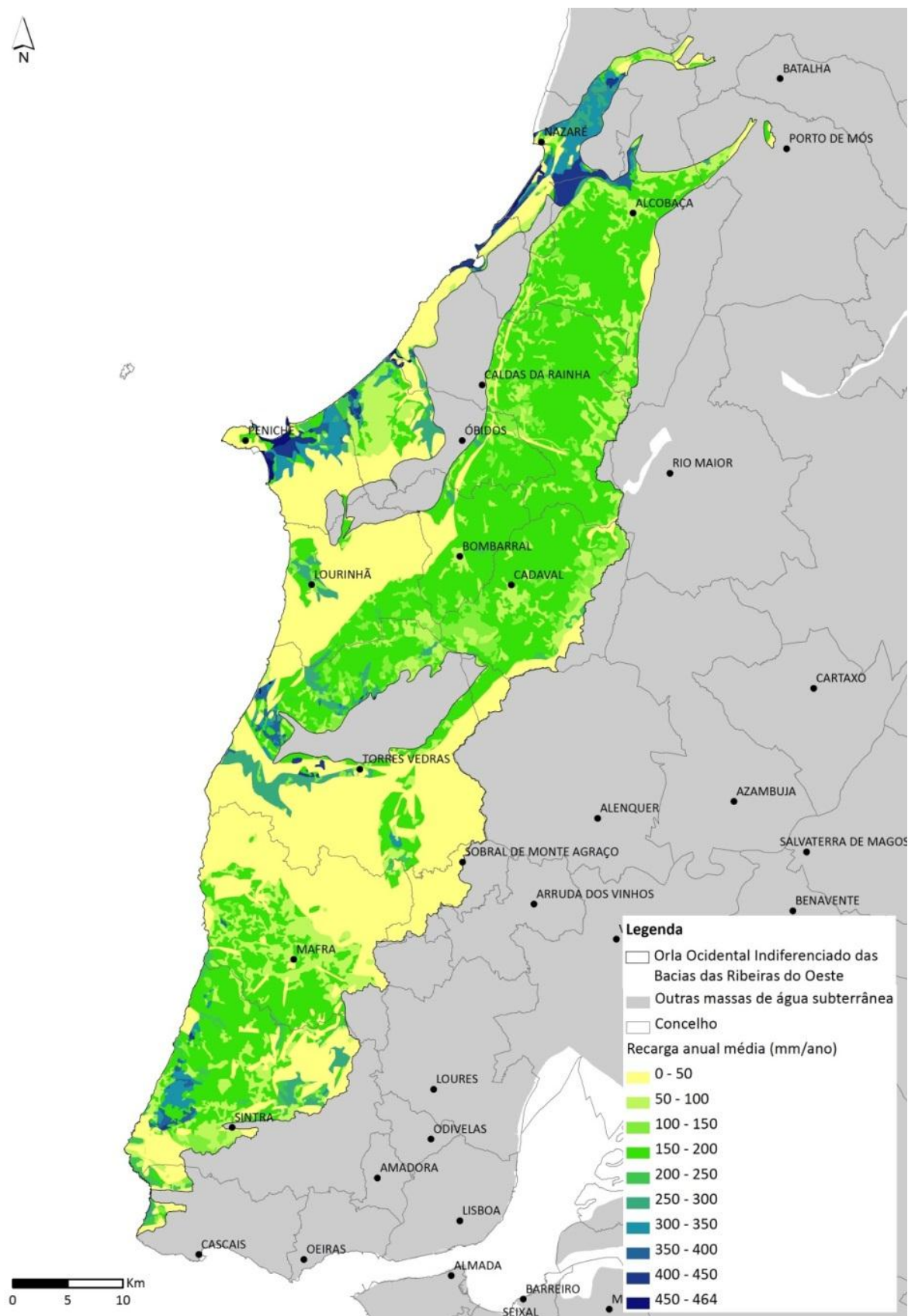


Figura 15: Recarga da massa de água subterrânea Orla Ocidental Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste (dados cedidos pela ARH Tejo e Oeste).

4. APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE RECARGA EFETIVA

O Índice de Recarga Efetiva foi aplicado em toda a área abrangida pelo concelho de Óbidos, tendo-se excluído apenas o plano de água correspondente à Lagoa de Óbidos.

Os parâmetros I_p , D e ZV foram determinados a partir da informação de base apresentada anteriormente, descrevendo-se em seguida a metodologia adotada para o seu cálculo, assim como os resultados finais do cálculo do índice.

4.1. Recarga potencial (I_p)

Para o cálculo do parâmetro I_p consideraram-se os valores de recarga apresentados para cada massa de água, ilustrando-se na Figura 16 a sua distribuição espacial.

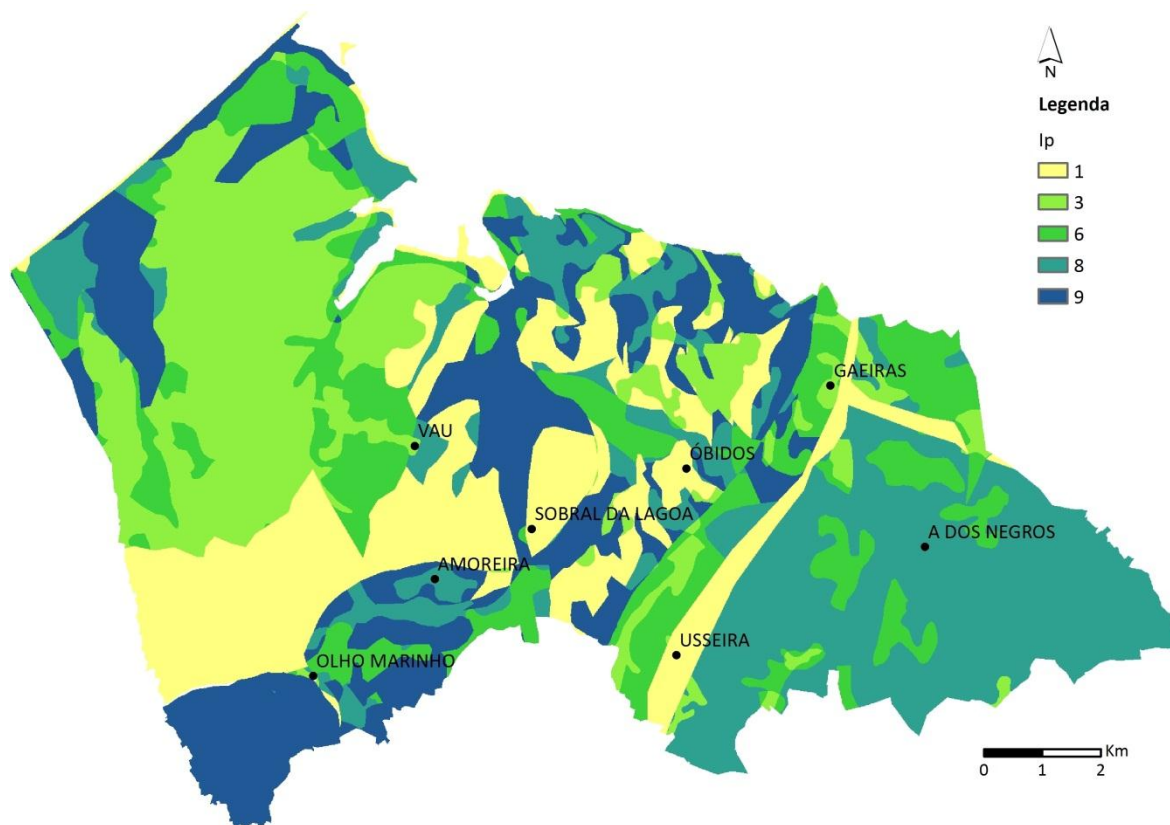


Figura 16: Distribuição espacial do parâmetro I_p do I_{ReF} .

4.2. Declive da superfície topográfica (D)

Para a determinação do parâmetro D foi utilizado um modelo digital de terreno, construído para a área abrangida pelo concelho de Óbidos a partir da informação altimétrica da Carta Militar de

Portugal à escala 1:25.000. Com base neste modelo obteve-se um mapa de declives, a partir do qual a informação foi reclassificada atendendo à ponderação atribuída pela metodologia aos intervalos de declive. Deste modo, obteve-se a distribuição espacial do parâmetro D (Figura 17).

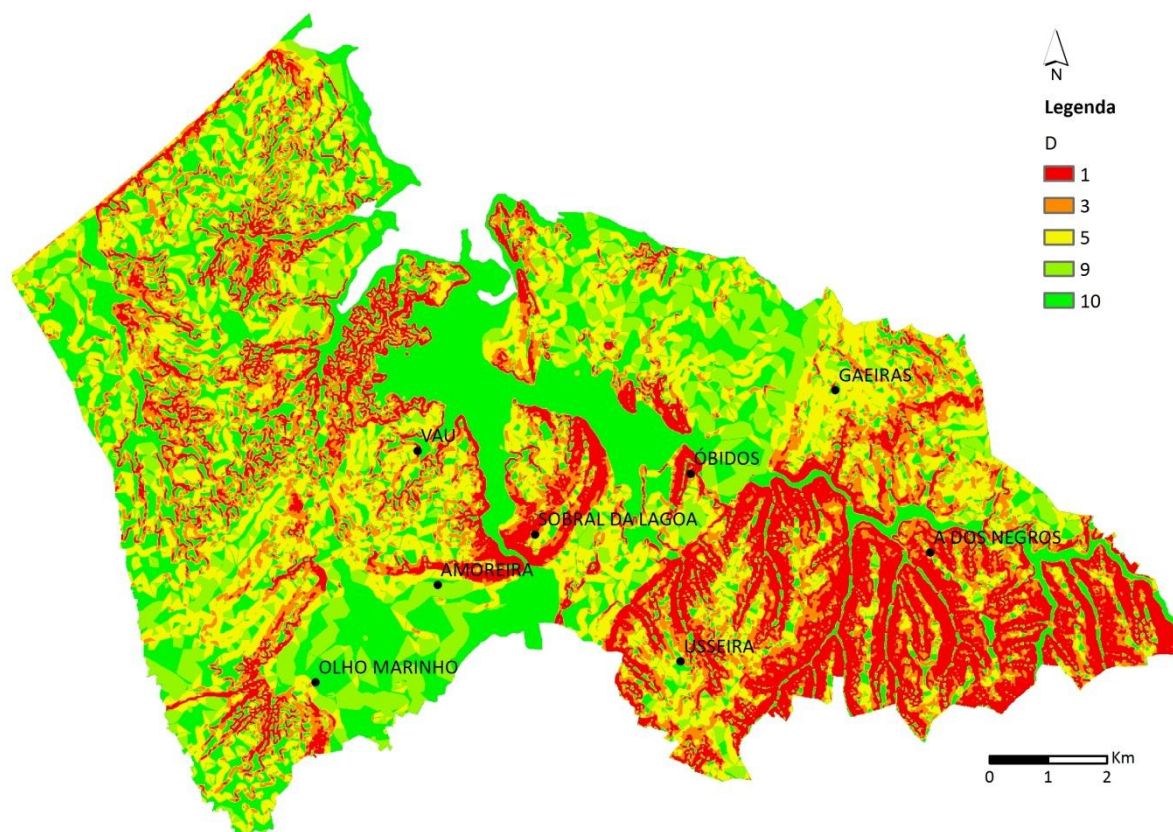


Figura 17: Distribuição espacial do parâmetro D do IR_{ef} .

4.3. Litologia e estrutura da zona vadosa (ZV)

O parâmetro ZV é determinado com base nas ponderações atribuídas às formações geológicas presentes na área em estudo. Dado que para algumas classes é indicado um intervalo de valores, e no sentido de identificar de que forma a variação deste parâmetro pode influenciar o cálculo do IR_{ef} , foram definidos três cenários, designadamente:

- Cenário 1 – ponderação que se considera ser a mais adequada, atendendo às características da formação geológica;
- Cenário 2 – Valores mínimos de cada classe;
- Cenário 3 – Valores máximos de cada classe.

Atendendo a estes cenários, foram atribuídas as ponderações a cada classe identificada na área em estudo. No Quadro 15 apresenta-se a correspondência entre as formações geológicas presentes no concelho de Óbidos e a classe do parâmetro ZV definida pela metodologia, assim como as ponderações atribuídas.

Quadro 15: Ponderação atribuída ao parâmetro ZV

Formação geológica	Classe	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Aluviões	Terraços e aluviões arenosas	6	6	6
Dunas e areias de duna	Dunas, areias de duna e de praia	10	10	10
Areias de praia	Dunas, areias de duna e de praia	10	10	10
Tufos calcários de Rio Maior e Olho Marinho	-	8	6	8
Depósitos de antigas praias e de terraços	Dunas, areias de duna e de praia	10	10	10
Complexo astiano de Nadadouro e Águas Santas e Camadas vilafranquianas com lignitos e diatomitos de Rio Maior, Óbidos, etc.	Depósitos do Pliocénico	5	3	6
Complexos gresosos de Olhos Amarelos, Pousio da Galeota e Gansaria	Grés do Cretácico inferior	4	3	6
Grés superiores com vegetais e dinossáurios	Grés superiores com restos de vegetais e dinossáurios do Jurássico superior	3	3	4
Camadas de Alcobaça	Outras formações do Jurássico superior	4	3	4
Camadas de Montejunto	Calcários carsificados do Jurássico superior: Camadas de Montejunto, Calcários de Amaral e Calcários de Ota e Alenquer	8	6	8
Camadas de Montejunto (Cesareda)	Calcários carsificados do Jurássico superior: Camadas de Montejunto, Calcários de Amaral e Calcários de Ota e Alenquer	8	8	8
Caloviano	Calcários e calcários dolomíticos e Formação de Candeeiros do Jurássico médio	8	8	10
Bajociano-Batoniano	Calcários e calcários dolomíticos e Formação de Candeeiros do Jurássico médio	8	8	10
Aaleniano a Sinemuriano	Dolomiticos, calcários e calcários dolomíticos do Jurássico inferior	6	6	7
Complexo de Dagorda (margas)	Formação de Dagorda	1	1	1
Complexo de Dagorda (calcários)	Formação de Dagorda	1	1	1
Rochas vulcânicas	Rochas fraturadas e fissuradas (ígneas e metamórficas)	2	2	2

Tal como referido anteriormente, nos casos em que a pontuação da classe corresponde a um intervalo de valores, o cenário 1 foi definido atendendo às características das formações geológicas, tendo-se considerado os seguintes critérios:

- Aluviões – caracterizam-se por alguma heterogeneidade e são constituídas por lodos, areias e calhaus rolados, sendo principalmente arenosas na parte este do concelho devido à erosão dos grés do Jurássico superior. O índice "1" atribuído a lodos e argilas parece demasiado restritivo, pelo que se pode considerar em oposição o intervalo "8-10" dos terraços e aluviões arenosas. Considera-se no entanto que, dadas as características destes depósitos na área em estudo, nenhum destes índices se revela o mais adequado, tendo-se optado por atribuir o valor "6" devido à componente argilosa presente;
- Tufos calcários de Rio Maior e Olho Marinho – não existe nenhuma correspondência entre esta formação e as classes definidas na metodologia, pelo que se atribuiu o índice relativo às Camadas de Montejunto. Dado que os tufos calcários são depósitos calcários formados devido à precipitação de carbonato, encontrando-se neste caso associados à exurgência do maciço da Cesareda, considera-se adequada a atribuição de um índice equivalente ao da classe definida para as Camadas de Montejunto (valor 6 ou 8, de acordo com o cenário considerado);
- Depósitos de antigas praias e de terraços – são constituídos por areias e cascalheiras, atribuindo-se o índice "10" por comparação com o valor definido para as areias de praia;
- Complexo astiano de Nadadouro e Águas Santas e Camadas vilafranquianas com lignitos e diatomitos de Rio Maior, Óbidos, etc. – considerando a caracterização apresentada anteriormente, definiu-se um valor intermédio para esta formação;
- Complexos gresosos de Olhos Amarelos, Pousio da Galeota e Gansaria e Grés superiores com vegetais e dinossáurios – pontuação atribuída atendendo à componente argilosa presente em ambas as formações;
- Camadas de Alcobaça – considera-se que se inclui na classe "Outras formações do Jurássico superior", distinguindo-se assim dos calcários carsificados existentes na área em estudo;
- Camadas de Montejunto – valor definido considerando a fraturação apresentada pela formação. Dada a carsificação observada no planalto da Cesareda, atribuiu-se nessa área o valor máximo para esta litologia em todos os cenários;
- Caloviano, Bajociano-Batoniano e Aaleniano a Sinemuriano – índice atribuído de acordo com a fraturação observada em campo.

Com base nos cenários e ponderações indicados no Quadro 15, obtém-se a representação espacial do parâmetro ZV ilustrada nas Figuras 18 a 20.

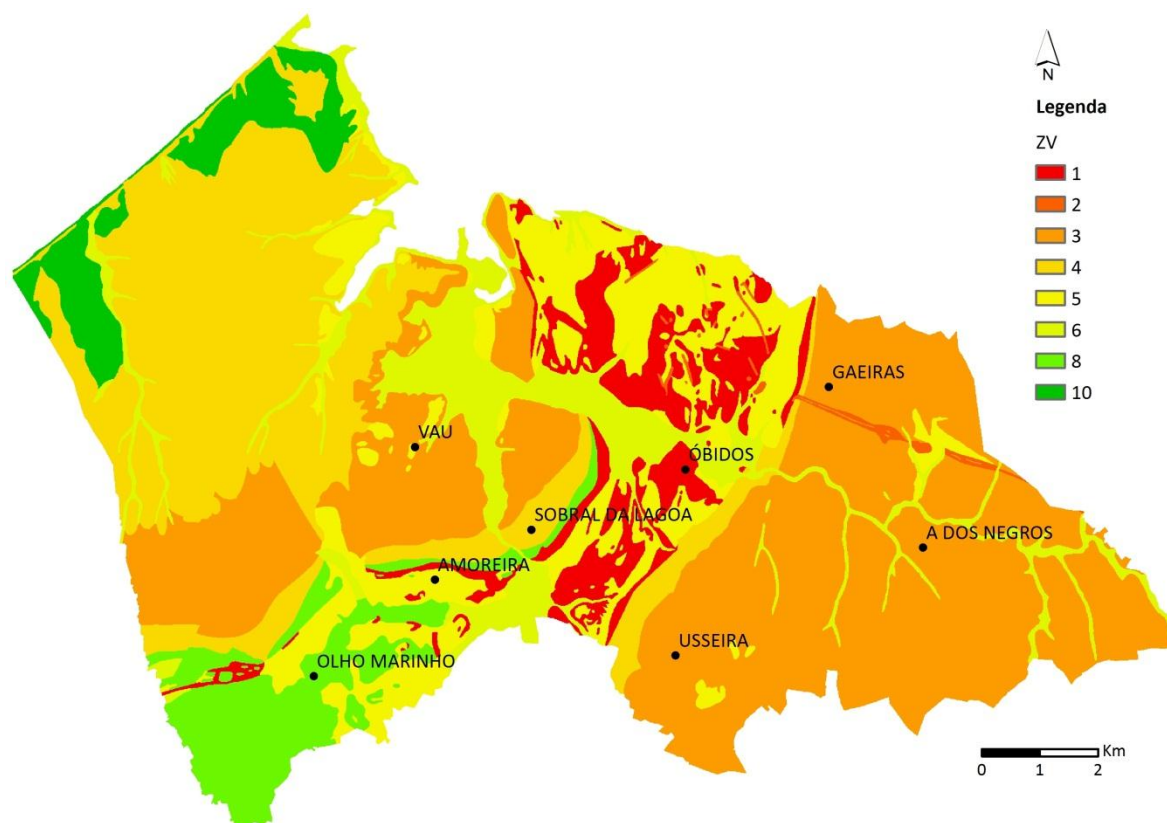


Figura 18: Representação espacial do parâmetro ZV do IR_{efr} , de acordo com as ponderações do cenário 1.

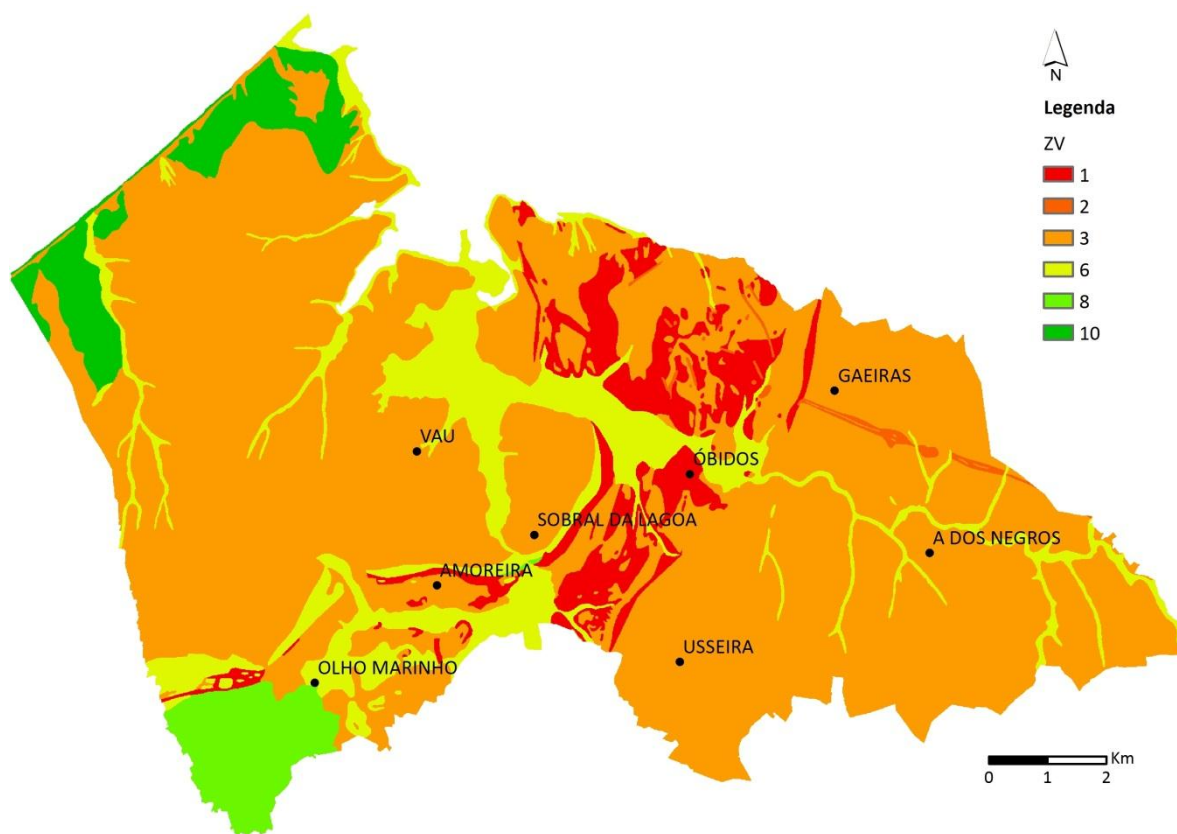


Figura 19: Representação espacial do parâmetro ZV do IR_{efr} , de acordo com as ponderações do cenário 2.

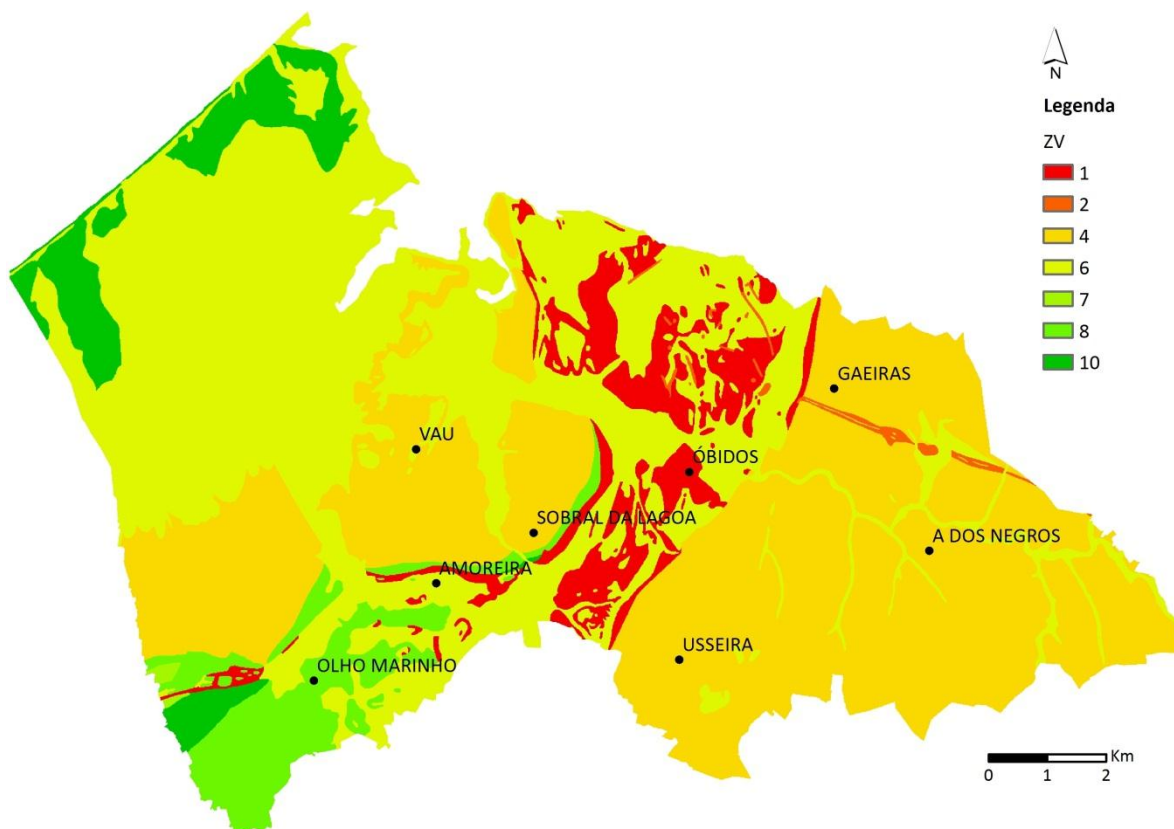


Figura 20: Representação espacial do parâmetro ZV do IR_{ef} , de acordo com as ponderações do cenário 3.

4.4. Cálculo do IR_{ef}

O cálculo do IR_{ef} compreendeu a informação relativa aos três parâmetros apresentados nos capítulos anteriores, tendo sido considerados três cenários definidos em função da variabilidade atribuída ao parâmetro ZV. Este, sendo o de maior ponderação na equação através da qual é calculado o índice, é considerado o parâmetro mais relevante para a identificação das áreas onde existe maior capacidade de recarga efetiva.

Com base nos cenários apresentados para o parâmetro ZV, verifica-se que os resultados finais do cálculo do IR_{ef} variam significativamente em algumas áreas do concelho. De acordo com as ponderações atribuídas às formações geológicas presentes na área em estudo, observa-se nas Figuras 21 a 23 a variação de valores de IR_{ef} de acordo com as seguintes situações:

- Cenário 1 – resultados a considerar para a definição das áreas de recarga, por corresponderem à ponderação do parâmetro ZV que se entende ser a mais adequada;
- Cenário 2 – situação de menor extensão das áreas de recarga, como consequência da ponderação de cada formação geológica com os valores mínimos do parâmetro ZV;
- Cenário 3 – situação mais conservadora, com maior área de recarga devido à atribuição dos valores máximos de cada classe no parâmetro ZV.

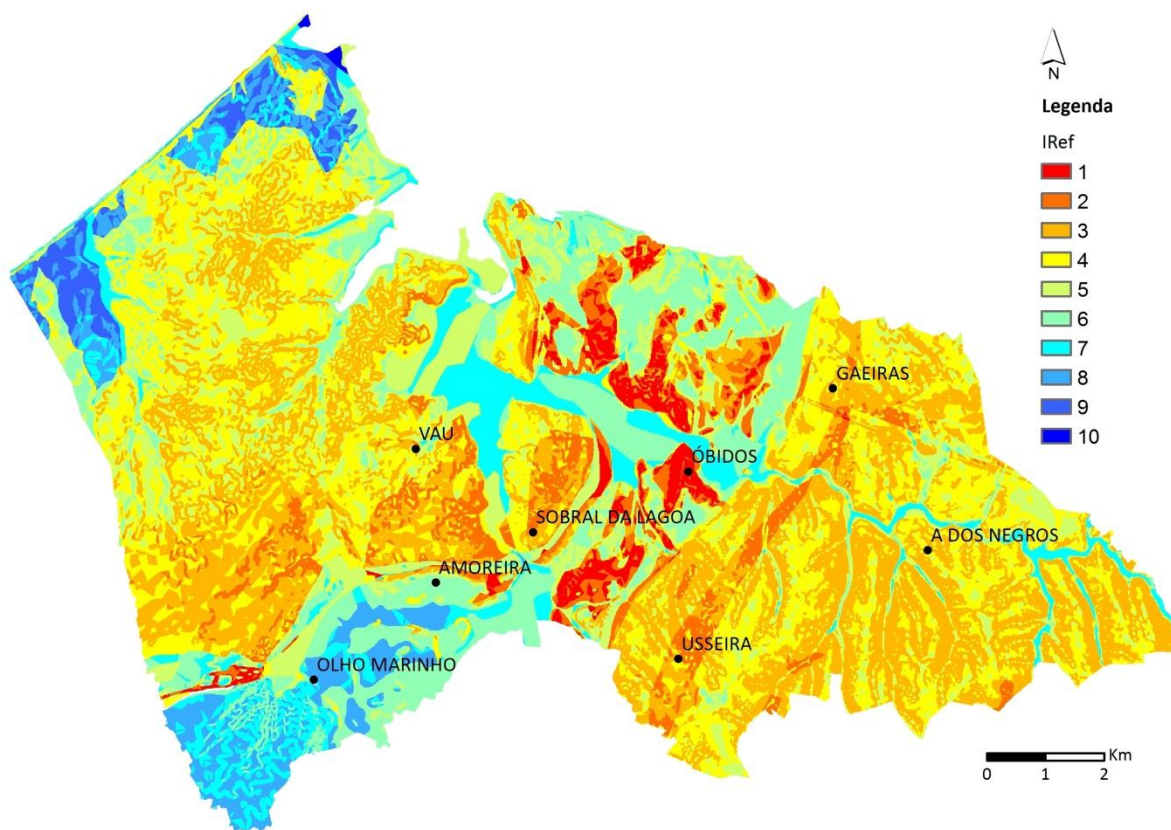


Figura 21: Representação espacial do I_{Ref} , de acordo com o cenário 1.

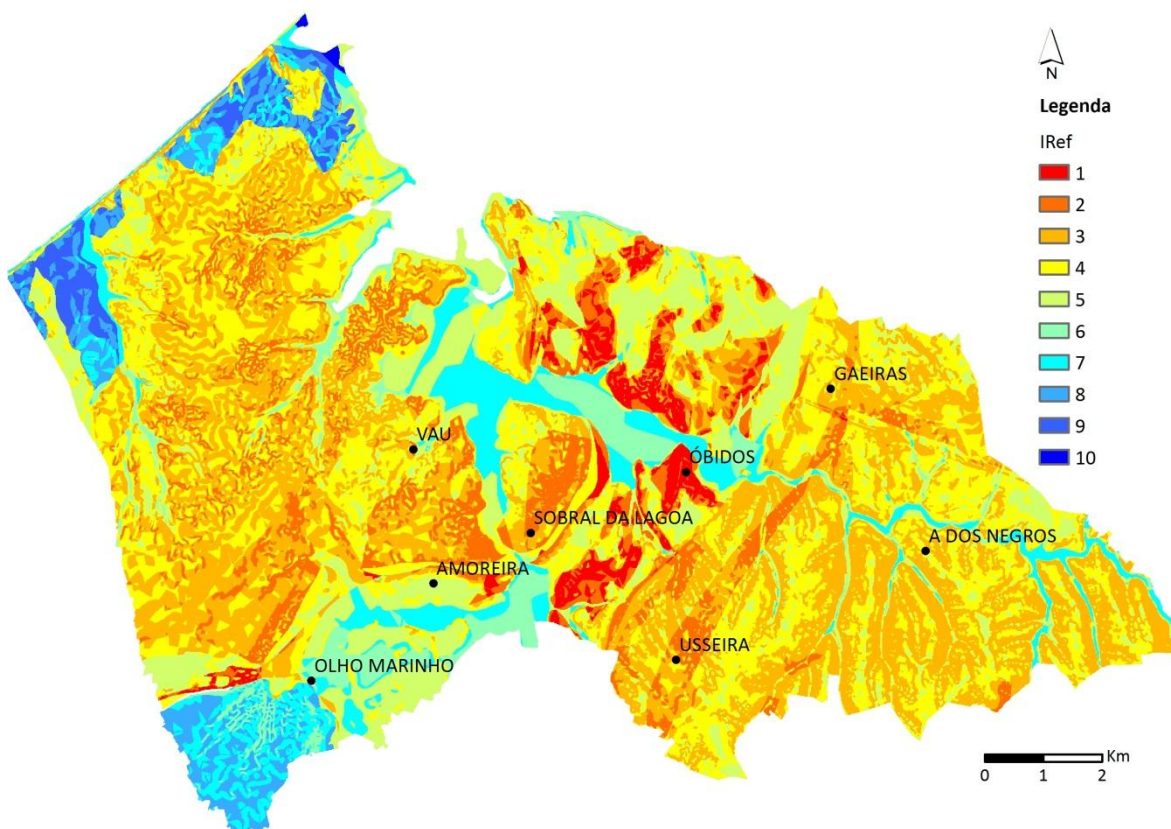


Figura 22: Representação espacial do I_{Ref} , de acordo com o cenário 2.

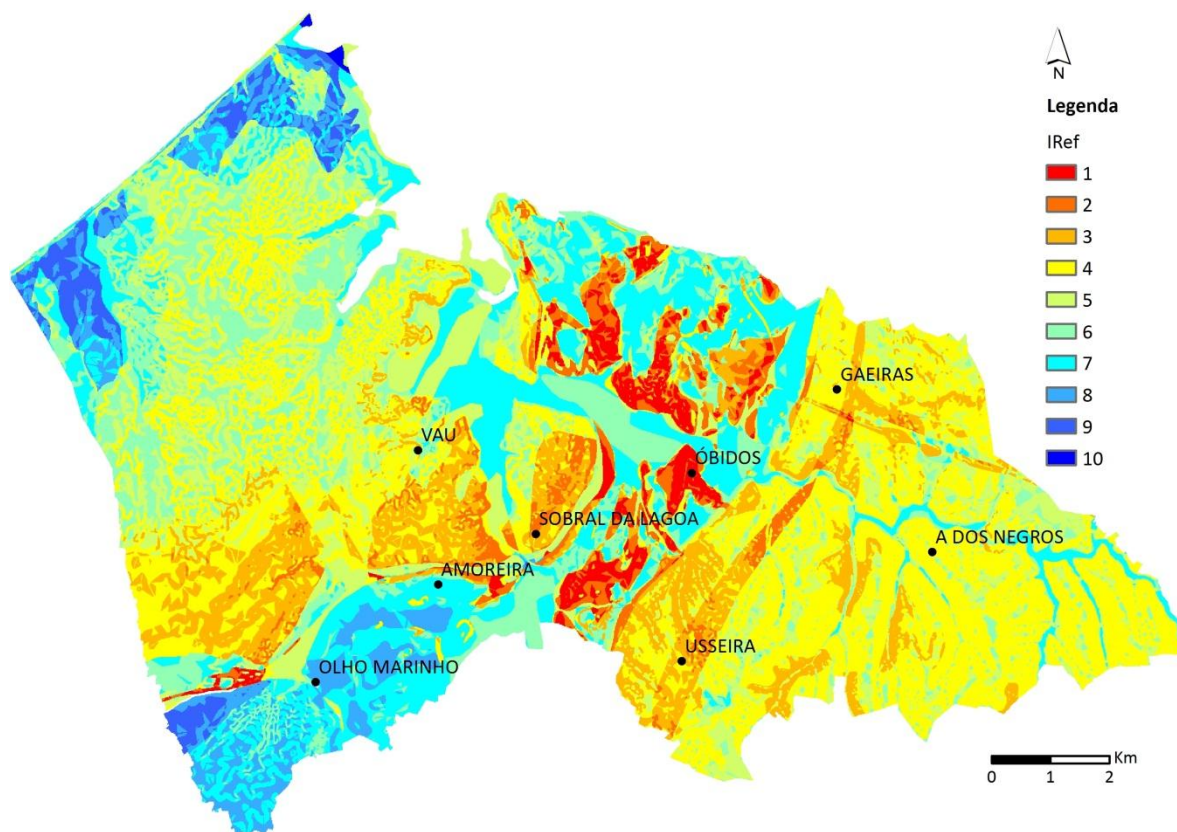


Figura 23: Representação espacial do I_{Ref} , de acordo com o cenário 3.

De acordo com os resultados obtidos verifica-se que, independentemente do cenário considerado, as classes que correspondem à situação de recarga efetiva mínima estão associadas às áreas de afloramento do Complexo de Dagorda, que constitui o substrato impermeável da massa de água Caldas da Rainha-Nazaré, e das rochas doleríticas. Por outro lado, as áreas relativas às classes de maior recarga ocorrem sobre as areias de duna, os depósitos aluvionares, as formações do Jurássico médio e superior que afloram no planalto da Cesareda e os tufos calcários.

Observa-se assim que os valores mínimos e máximos de I_{Ref} calculados, que se incluem nas classes mais baixas e mais altas respetivamente, são, de um modo geral, comuns aos três cenários. Esta situação deve-se essencialmente ao facto de as classes do parâmetro ZV onde se inserem estas formações geológicas terem a mesma ponderação nos três cenários, ou de terem um intervalo de valores pequeno com ponderações sempre próximas dos valores mais altos. Devido à sua natureza e permeabilidade, as areias de duna, as aluviões, as formações que constituem a massa de água Cesareda e os tufos calcários correspondem a áreas preferenciais para a recarga das águas subterrâneas, podendo existir apenas algumas variações locais dependendo da ponderação atribuída aos restantes parâmetros do I_{Ref} que, apesar de não serem tão relevantes para o cálculo do índice como a litologia e estrutura da zona vadosa, também condicionam a delimitação das áreas de recarga. Relativamente às classes mais baixas, as características do Complexo de Dagorda e das rochas doleríticas evidenciam claramente uma menor aptidão para a ocorrência de recarga, quando comparadas com as restantes formações geológicas que afloram na área em estudo.

Apesar de as áreas incluídas nas classes mais baixas e mais altas não variarem, de um modo geral, com o cenário considerado, observa-se nas restantes formações da área em estudo uma maior

variação dos valores de IR_{ef} , condicionados principalmente pela ponderação atribuída ao parâmetro ZV. Tendo em conta os critérios adotados pela metodologia para a definição das áreas de recarga, ou seja, são delimitadas as áreas que correspondem às classes 8 e 9 do índice, independentemente do declive, e às classes 6 e 7 quando o declive é $<6\%$, e atendendo às duas situações extremas de atribuição dos valores mínimos ou máximos às classes deste parâmetro, observam-se nas figuras anteriores diferenças significativas entre os cenários 2 e 3.

No cenário 2 as áreas de recarga são delimitadas apenas nas formações referidas anteriormente para as classes mais elevadas do índice (areias de duna, depósitos aluvionares, formações do Jurássico médio e superior que afloram no planalto da Cesareda e tufos calcários), dado que na restante área do concelho não são obtidos valores de IR_{ef} que conduzam à definição dessas áreas. Devido à ponderação atribuída, neste cenário não são incluídos, por exemplo, os depósitos pliocénicos que afloram no interior do vale tifónico, que constituem a formação aquífera dominante da massa de água Caldas da Rainha-Nazaré e a partir da qual se efetua principalmente a recarga do aquífero, através da precipitação (Figura 24).

No cenário 3 a atribuição dos valores máximos às classes do parâmetro ZV leva a que na maior parte das formações sejam definidas áreas de recarga, excetuando-se os afloramentos das Camadas de Alcobaça e das Camadas de Montejunto ao longo dos bordos do vale tifónico devido ao seu declive acentuado, que favorece o escoamento superficial em detrimento da infiltração da água. Neste cenário observam-se valores de IR_{ef} elevados nos depósitos pliocénicos e em algumas áreas das formações detríticas do Jurássico superior e do Cretácico (Figura 25).

Comparando as duas situações verifica-se que o cenário 2 define as principais áreas do concelho de Óbidos onde ocorre a recarga das águas subterrâneas, dado que correspondem a áreas com valores de IR_{ef} elevados que são sempre identificadas, em qualquer um dos cenários, independentemente de se atribuir o valor máximo ou mínimo às classes do parâmetro ZV.

Relativamente ao cenário 1, e atendendo a que foi atribuída a ponderação do parâmetro ZV que se entende ser a mais apropriada, dadas as características que as formações geológicas apresentam na área em estudo, considera-se que corresponde provavelmente à delimitação mais adequada das três obtidas. Os valores de IR_{ef} calculados correspondem a uma situação intermédia entre os cenários 2 e 3, verificando-se que a principal diferença entre este cenário e o 3 é a redução significativa de áreas de recarga nas formações detríticas do Jurássico superior e do Cretácico (Figura 26).

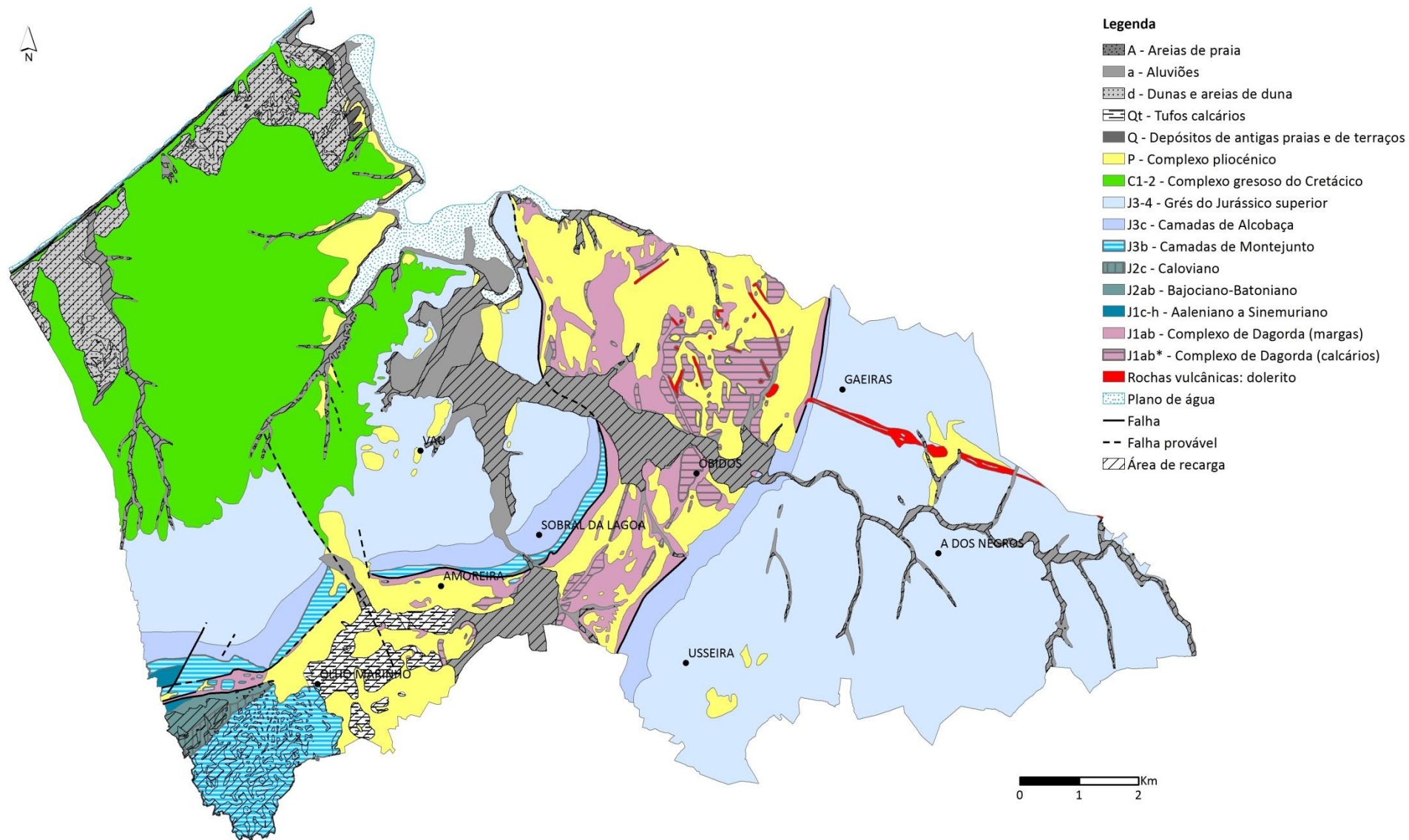


Figura 24: Representação espacial do IRe_f , de acordo com o cenário 2, sobre a cartografia geológica.

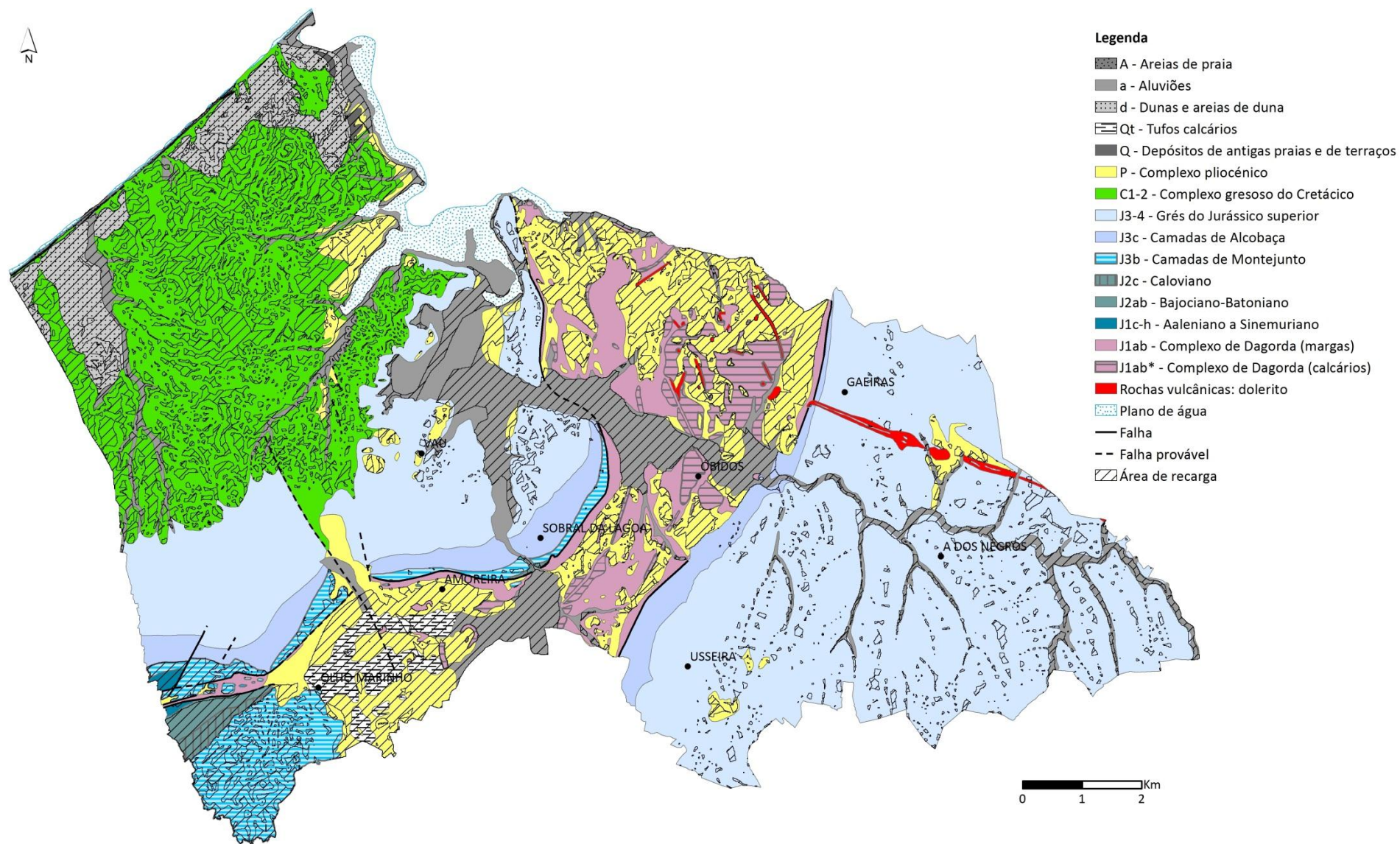


Figura 25: Representação espacial do IR_{ef} , de acordo com o cenário 3, sobre a cartografia geológica.

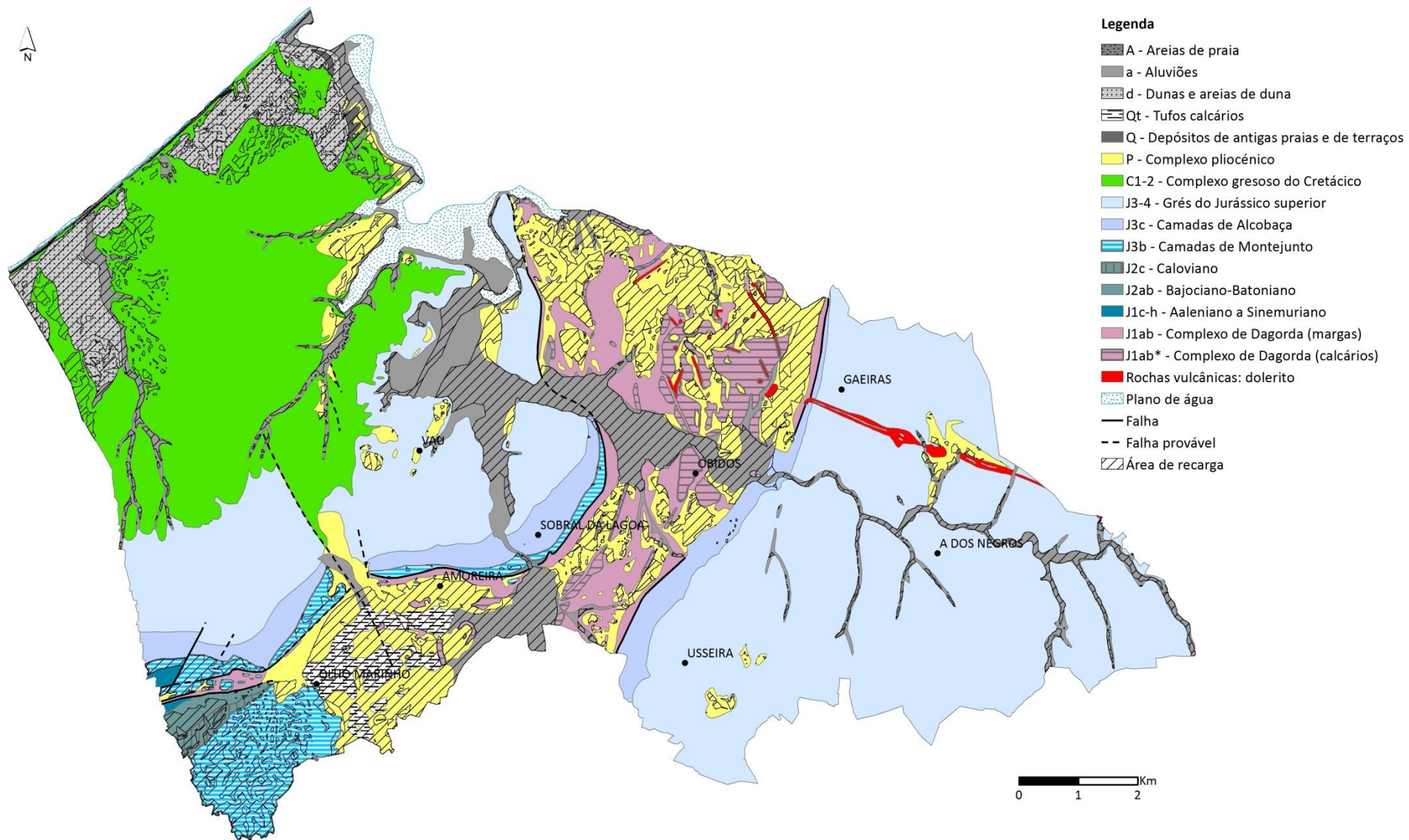


Figura 26: Representação espacial do IR_{ef} , de acordo com o cenário 1, sobre a cartografia geológica.

5. DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO

Na área em estudo, a delimitação das áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos com base na avaliação da vulnerabilidade à poluição compreende a aplicação do Índice de Suscetibilidade e do EPIK, tal como referido anteriormente.

Neste sentido, e atendendo à existência de um sistema cársico, os dois índices foram aplicados nas seguintes áreas:

- Índice de Suscetibilidade – área abrangida pelo concelho de Óbidos, com exceção da área de aplicação do EPIK e do plano de água correspondente à Lagoa de Óbidos;
- EPIK – área onde afloram as formações do Jurássico médio e superior na massa de água Cesareda.

Nos capítulos seguintes descreve-se a metodologia adotada para a determinação dos parâmetros e apresentam-se os resultados finais relativos ao cálculo de cada índice.

5.1. Índice de Suscetibilidade

5.1.1. Profundidade da zona não saturada (D)

A determinação deste parâmetro compreendeu a definição de uma superfície que representa a profundidade do nível da água na área abrangida pelas massas de água Caldas da Rainha-Nazaré e Orla Ocidental Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste.

No sentido de obter esta representação, foram inventariadas as captações de água subterrânea com dados relativos à profundidade do nível estático medido à data da construção ou durante os trabalhos de campo. Esta informação foi reunida a partir do inventário de pontos de água disponível na ARH Tejo e Oeste, que permitiu identificar 570 captações com medições desde 1980. Considerando que a utilização de todos os dados implicaria a análise de informação relativa a um período superior a 30 anos, durante o qual poderão ter existido alterações eventualmente significativas no que respeita à profundidade do nível da água, foram consideradas apenas as captações com medições efetuadas a partir do ano 2000, diminuindo deste modo o desfasamento temporal dos dados. Apesar de se ter considerado um período de análise mais curto (13 anos) admite-se que pode continuar a existir algum desfasamento dos dados, no entanto a eventual diminuição do intervalo temporal reduziria também significativamente o número de captações com medições, levando deste modo a que fossem utilizados menos dados de base para a definição da superfície correspondente à profundidade do nível da água.

Desta triagem resultou uma diminuição superior a 75% do número de captações inicialmente inventariado, tendo sido assim analisadas as medições relativas a 125 pontos de água. Esta informação foi ainda complementada com os dados disponíveis no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), relativos a duas estações de monitorização da rede de quantidade (piezometria) localizadas na massa de água Caldas da Rainha-Nazaré, tendo-se considerado a

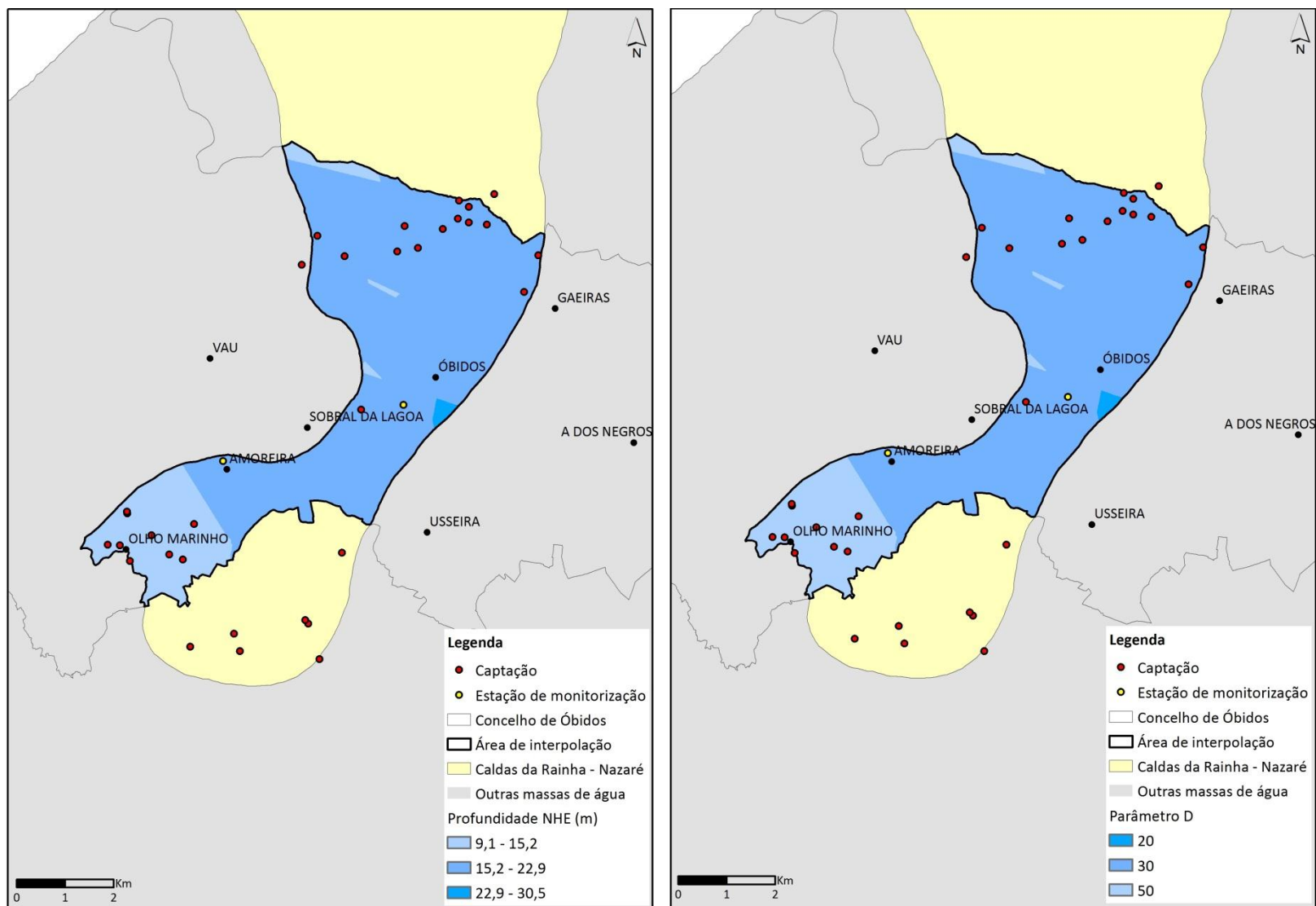


Figura 28: Profundidade do nível da água na massa de água Caldas da Rainha-Nazaré (à esquerda) e distribuição espacial do parâmetro D do IS (à direita).

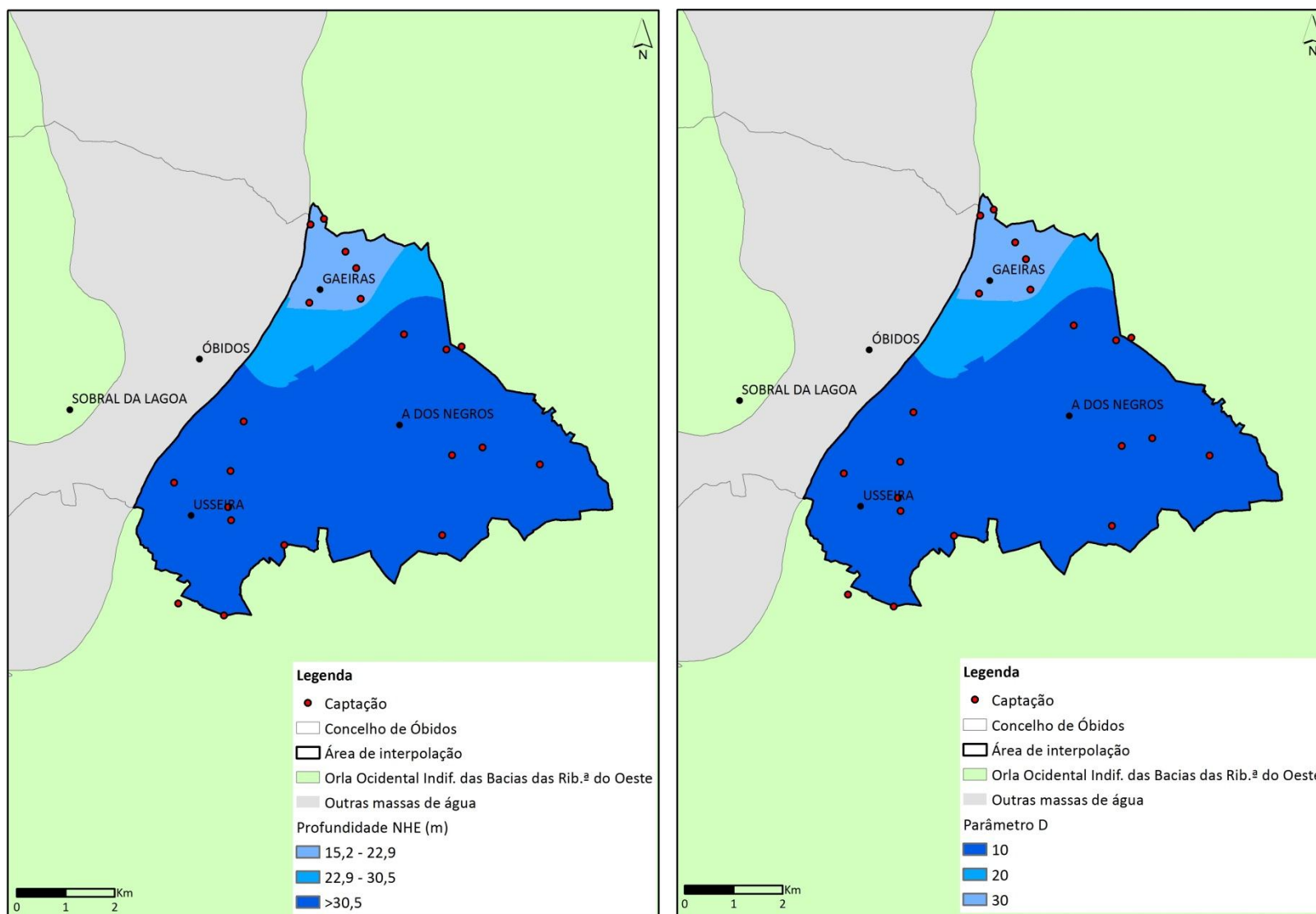


Figura 29: Profundidade do nível da água no setor este da massa de água Orla Ocidental Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste (à esquerda) e distribuição espacial do parâmetro D do IS (à direita).

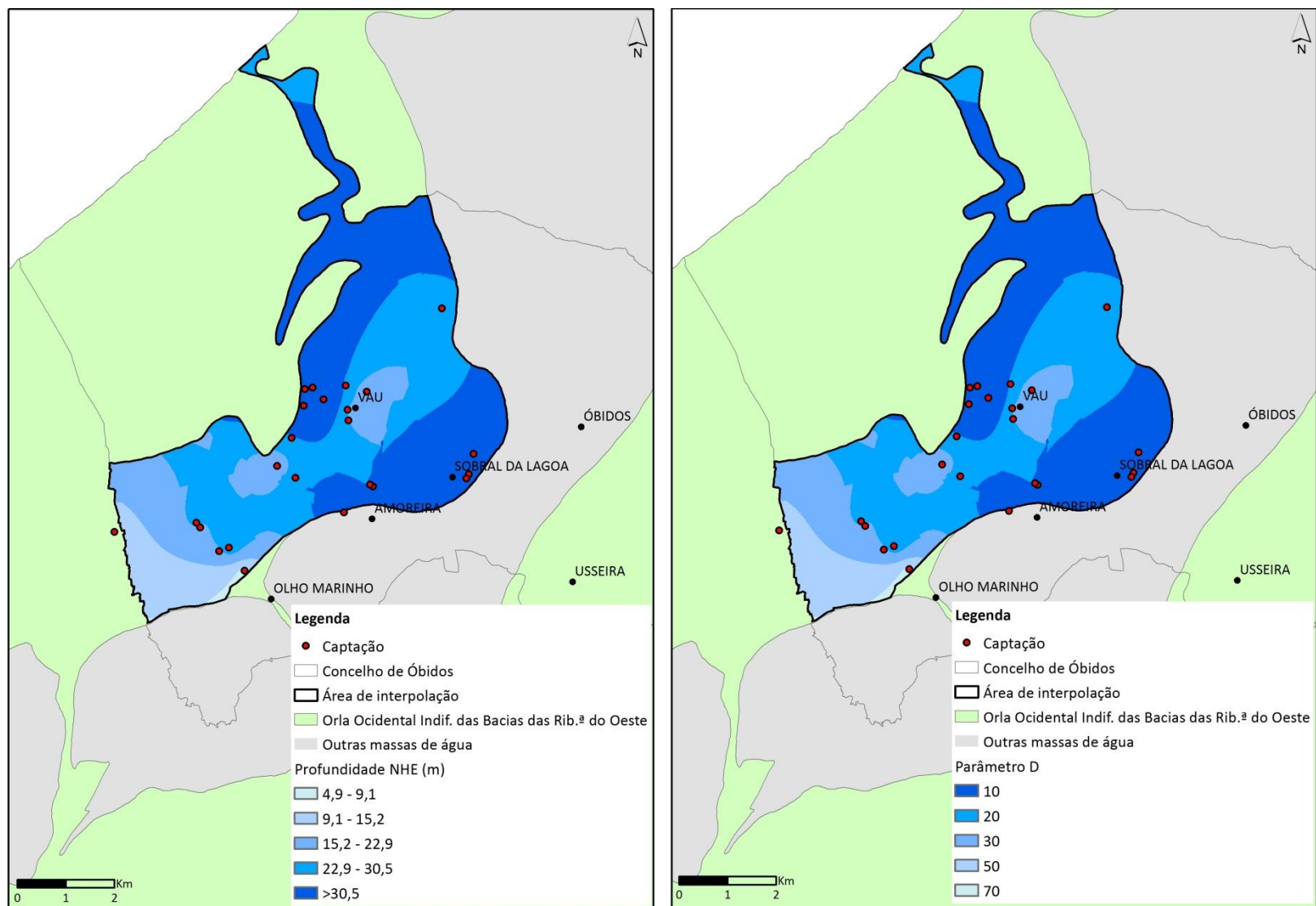


Figura 30: Profundidade do nível da água no setor oeste da massa de água Orla Ocidental Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste (à esquerda) e distribuição espacial do parâmetro D do IS (à direita).

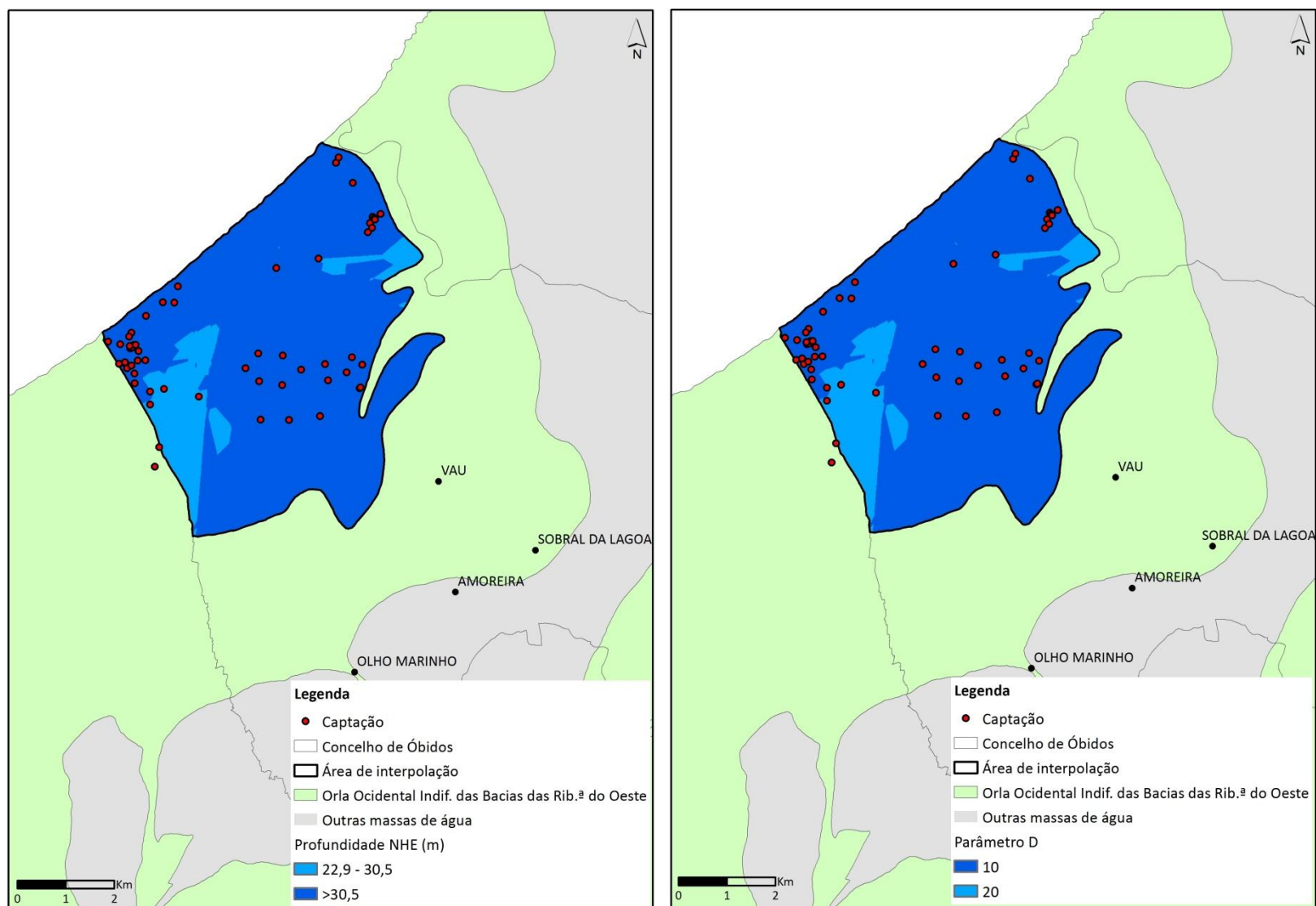


Figura 31: Profundidade do nível da água na área com potencial hidrogeológico designada de Lagoa de Óbidos (à esquerda) e distribuição espacial do parâmetro D do IS (à direita).

5.1.2. Recarga do aquífero (R)

À semelhança da metodologia adotada para a determinação do parâmetro I_p do IR_{ef} , o parâmetro R foi calculado considerando os valores de recarga obtidos com o modelo BALSEQ_MOD (Oliveira, 2004), no âmbito do Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste (Figura 32).

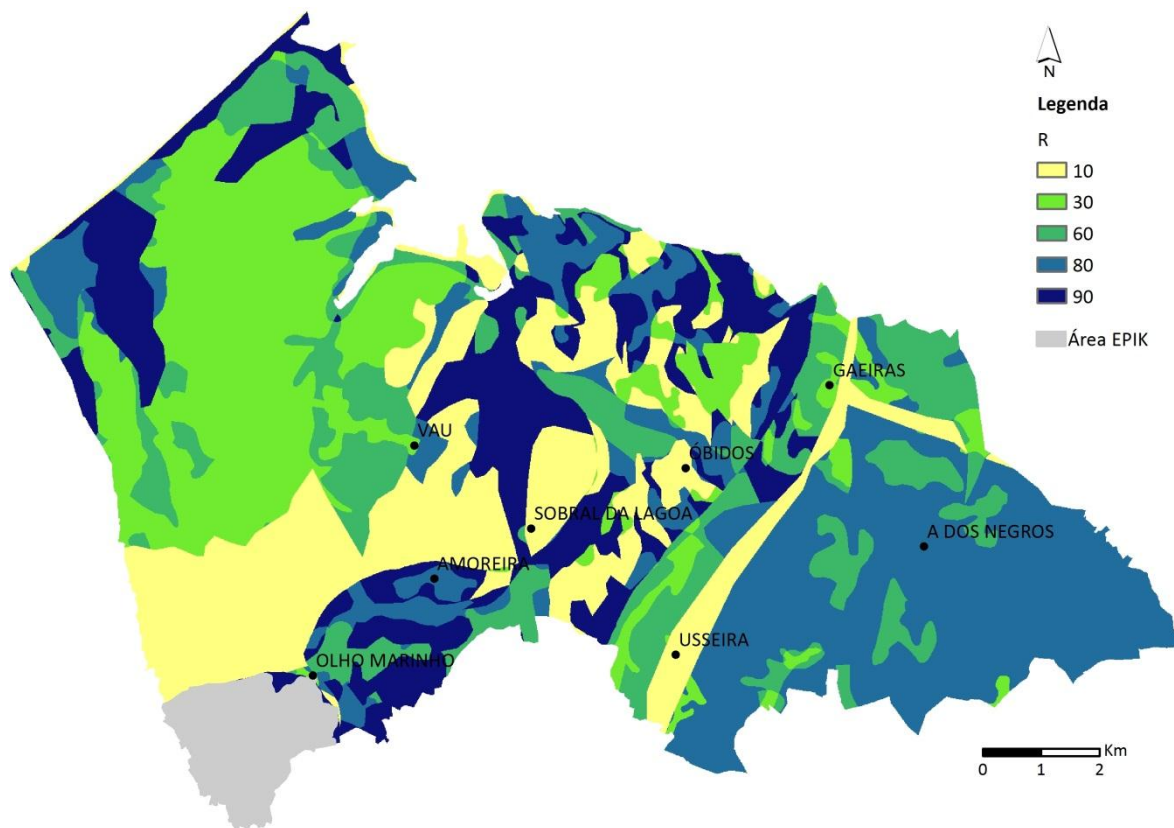


Figura 32: Distribuição espacial do parâmetro R do IS.

5.1.3. Geologia do aquífero (A)

O parâmetro A é determinado com base nas ponderações atribuídas às formações geológicas presentes na área em estudo, estando definida para cada classe de litologia um intervalo de valores e um valor típico a atribuir. À semelhança da metodologia adotada para a determinação do parâmetro ZV do IR_{ef} , e no sentido de analisar de que forma a variação dos valores atribuídos pode influenciar o cálculo do IS, foram definidos três cenários, designadamente:

- Cenário 1 – ponderação que se considera ser a mais habitual para o tipo de formação geológica em questão;
- Cenário 2 – Valores mínimos de cada classe;
- Cenário 3 – Valores máximos de cada classe.

Considerando estes cenários, atribuíram-se as ponderações a cada litologia identificada na área de aplicação do IS, que se apresentam no Quadro 16, assim como a correspondência entre as formações geológicas presentes e a classe do parâmetro A definida pela metodologia. Salienta-se ainda que, tal como no IR_{ef} , não existe nenhuma correspondência entre os tufos calcários e as classes definidas na metodologia, pelo que se atribuiu novamente o índice relativo às Camadas de Montejuento.

As Figuras 33 a 35 ilustram a representação espacial deste parâmetro, de acordo com os cenários e ponderações atribuídos.

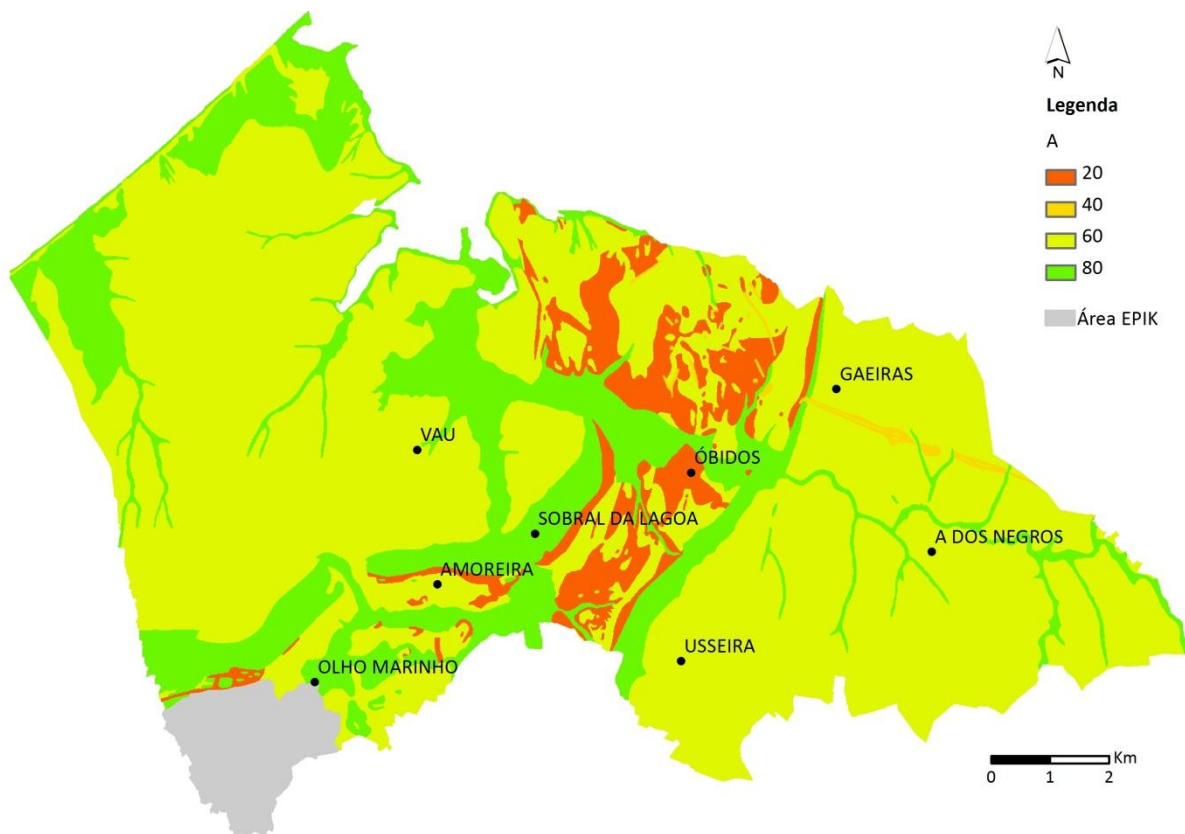


Figura 33: Representação espacial do parâmetro A do IS, de acordo com as ponderações do cenário 1.

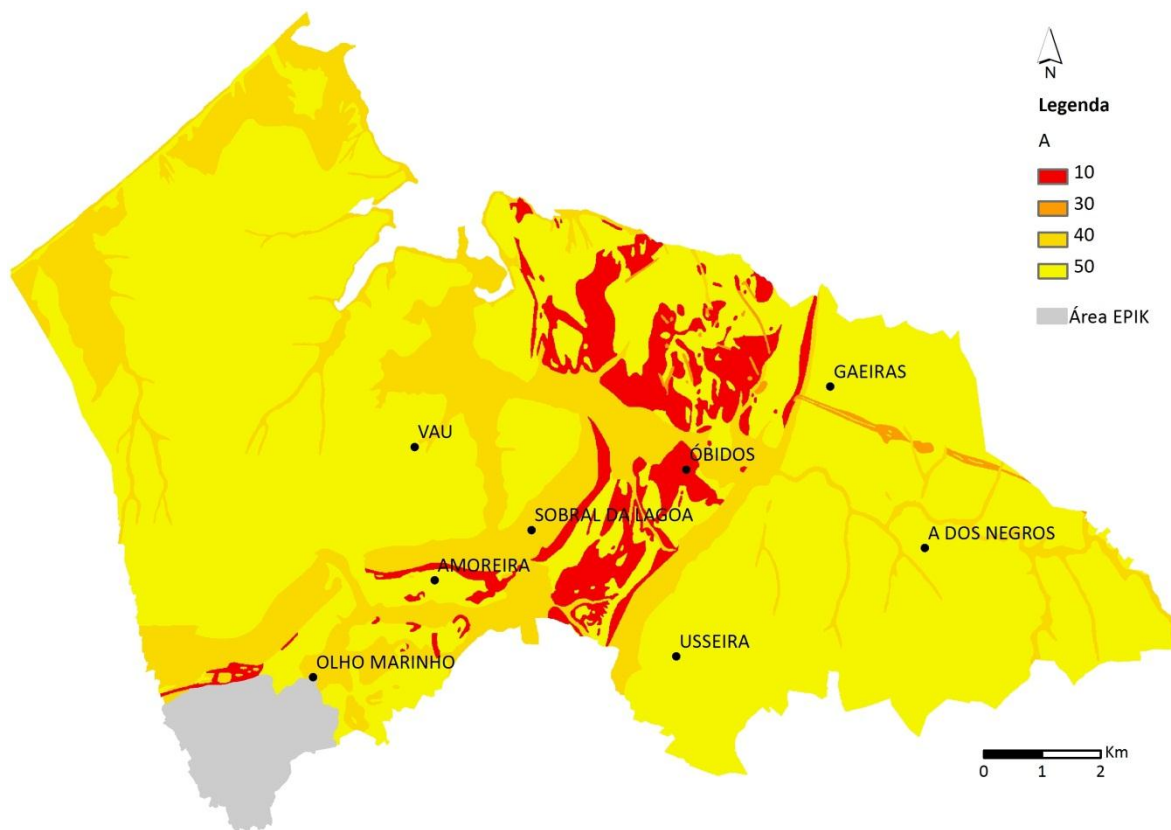


Figura 34: Representação espacial do parâmetro A do IS, de acordo com as ponderações do cenário 2.

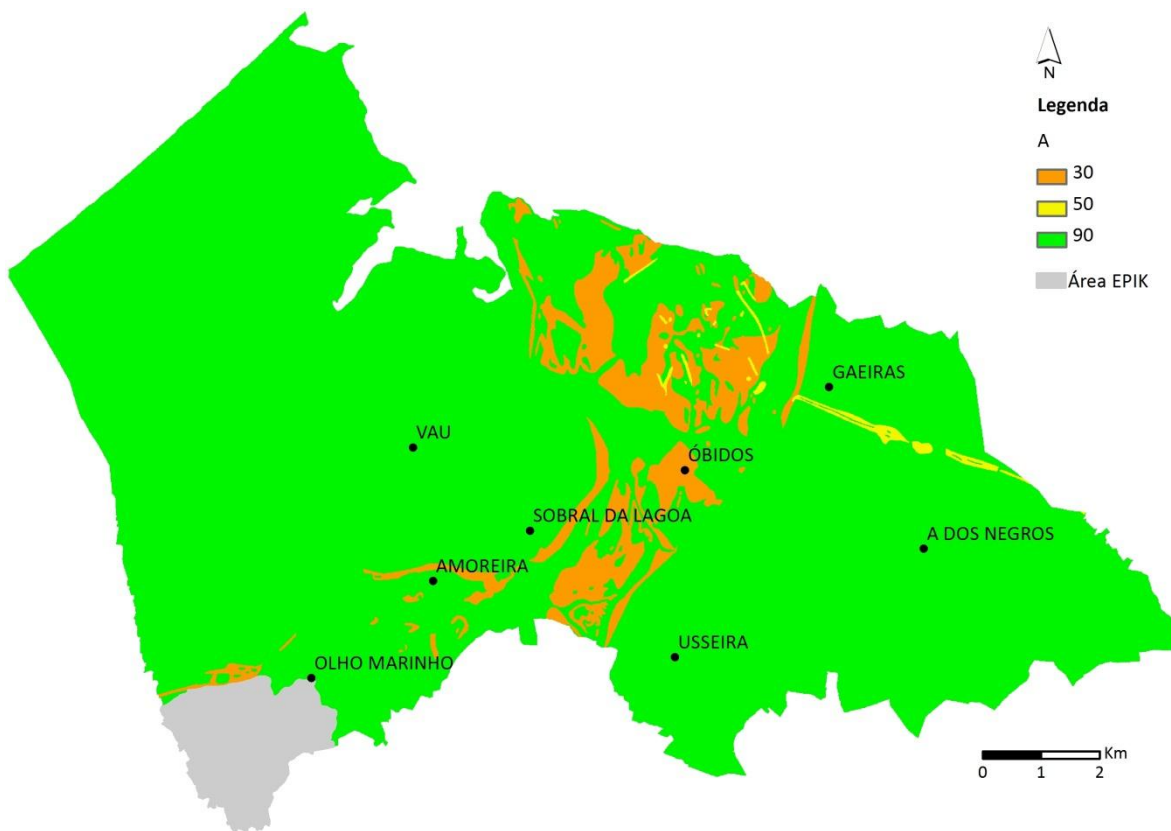


Figura 35: Representação espacial do parâmetro A do IS, de acordo com as ponderações do cenário 3.

Quadro 16: Ponderação atribuída ao parâmetro A

Formação geológica	Classe	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Aluviões	Areia e balastro	80	40	90
Dunas e areias de duna	Areia e balastro	80	40	90
Areias de praia	Areia e balastro	80	40	90
Tufos calcários de Rio Maior e Olho Marinho	-	80	40	90
Depósitos de antigas praias e de terraços	Areia e balastro	80	40	90
Complexo astiano de Nadadouro e Águas Santas e Camadas vilafranquianas com lignitos e diatomitos de Rio Maior, Óbidos, etc.	Arenito, calcário e argilitos estratificados	60	50	90
Complexos gresosos de Olhos Amarelos, Pousio da Galeota e Gansaria	Arenito, calcário e argilitos estratificados	60	50	90
Grés superiores com vegetais e dinossáurios	Arenito, calcário e argilitos estratificados	60	50	90
Camadas de Alcobaça	Calcário maciço	80	40	90
Camadas de Montejunto	Calcário maciço	80	40	90
Caloviano	Calcário maciço	80	40	90
Bajociano-Batoniano	Calcário maciço	80	40	90
Aaleniano a Sinemuriano	Calcário maciço	80	40	90
Complexo de Dagorda (margas)	Xisto argiloso, argilito	20	10	30
Complexo de Dagorda (calcários)	Xisto argiloso, argilito	20	10	30
Rochas vulcânicas	Rocha metamórfica/ígnea alterada	40	30	50

5.1.4. Topografia (T)

As classes do parâmetro T correspondem às do parâmetro D do IR_{ef} , existindo apenas diferenças no que respeita à ponderação atribuída. Assim, com a reclassificação do mapa de declives obtido a partir do modelo digital de terreno e com base no valor associado a cada classe, obteve-se a distribuição espacial do parâmetro T representada na Figura 36.

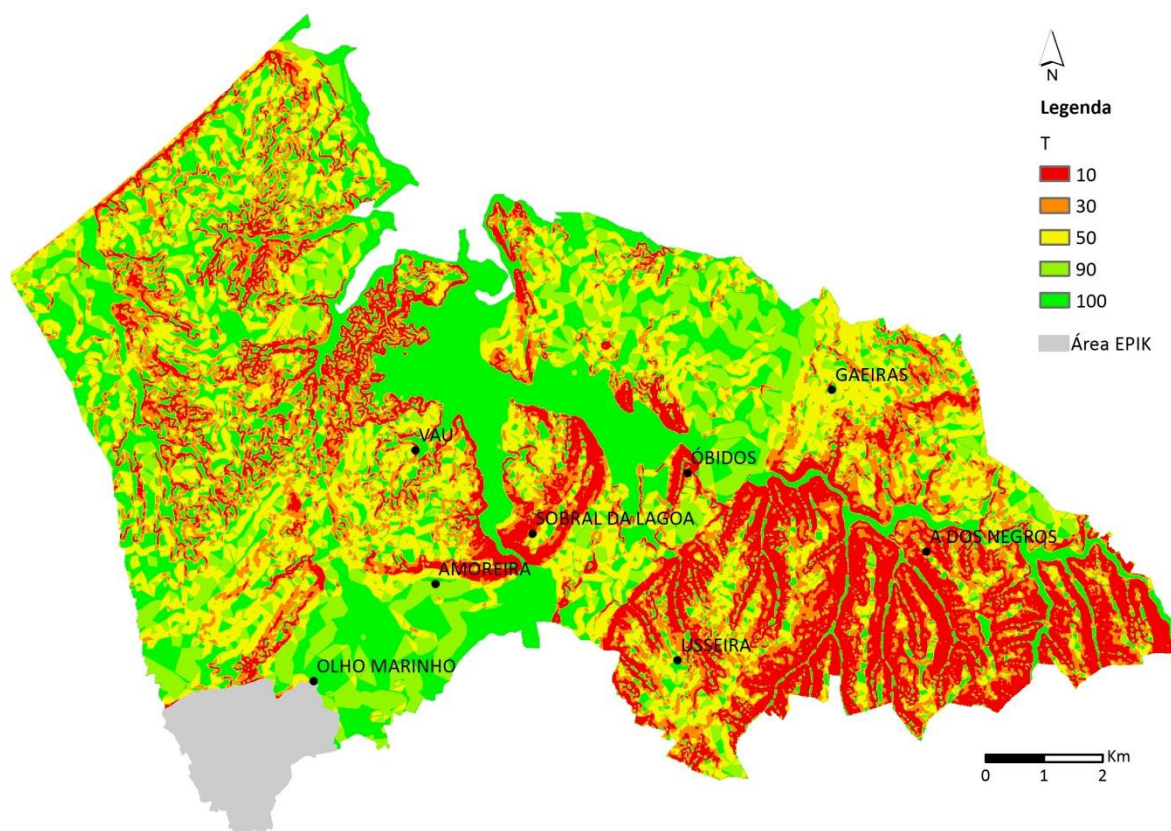


Figura 36: Distribuição espacial do parâmetro T do IS.

5.1.5. Cálculo do IS

A partir da determinação dos parâmetros D, R, A e T calcularam-se os valores do IS para a área de aplicação da metodologia, tendo-se obtido três situações em que se observam variações significativas dos resultados, dada a ponderação atribuída ao parâmetro A nos cenários 1, 2 e 3. À semelhança do IR_{ef} , este parâmetro é também considerado pelo IS como o mais relevante para a identificação das áreas onde preferencialmente ocorre a recarga, no entanto a sua ponderação não é muito superior à dos parâmetros D e R, pelo que os valores de IS calculados são também fortemente condicionados pela profundidade da zona não saturada e pela recarga do aquífero.

Assim, com base nos cenários apresentados anteriormente para o parâmetro A, que se distinguem pela diferença nas ponderações atribuídas às formações geológicas presentes na área em estudo, observa-se nas Figuras 37 a 39 a variação de valores de IS de acordo com as seguintes situações:

- Cenário 1 – resultados que correspondem à ponderação das classes do parâmetro A que a metodologia considera ser a mais habitual para o tipo de formação geológica em causa;
- Cenário 2 – situação em que os resultados finais não conduzem à definição de áreas de recarga, como consequência da ponderação de cada formação geológica com os valores mínimos do parâmetro A;
- Cenário 3 – situação de maior extensão das áreas de recarga, devido à atribuição dos valores máximos de cada classe no parâmetro A.

Os valores de IS calculados em cada cenário permitem obter o mapeamento da vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea, considerando-se que, tal como referido no capítulo 3.2.1., as áreas mais vulneráveis correspondem aos locais preferenciais para a existência de recarga.

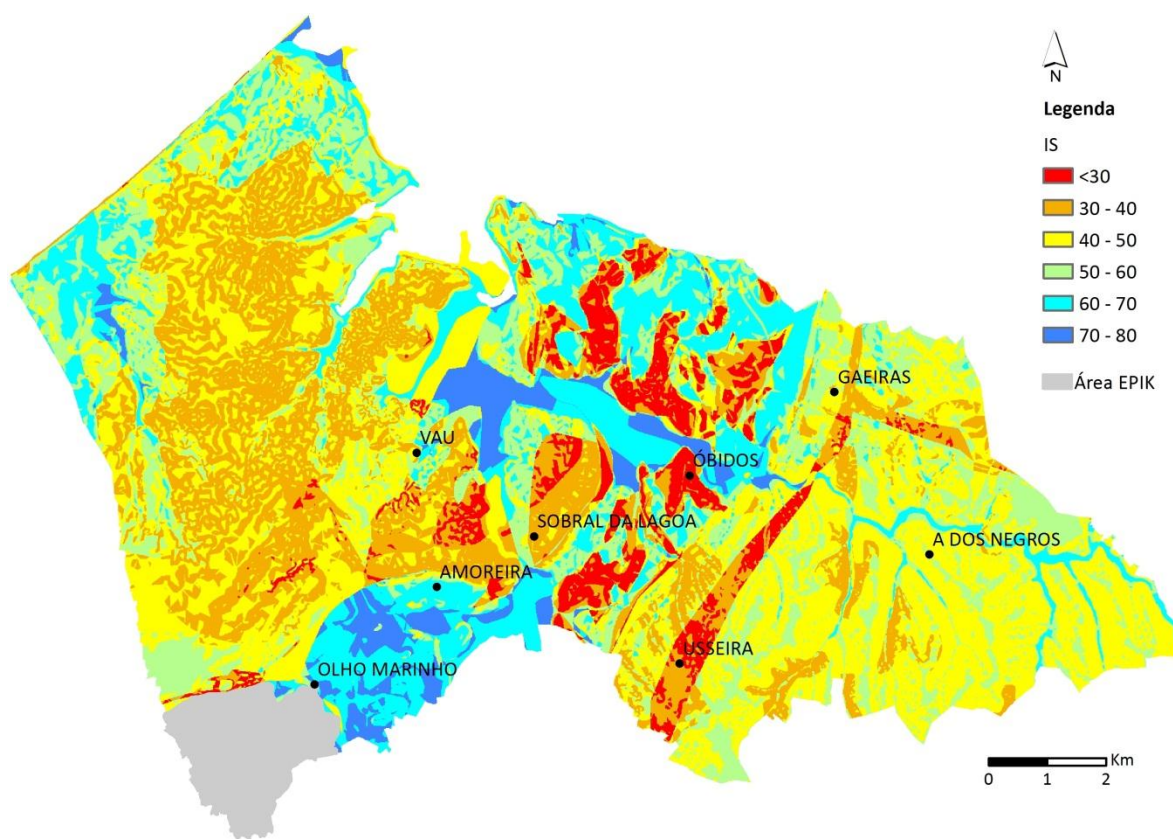


Figura 37: Representação espacial do IS, de acordo com o cenário 1.

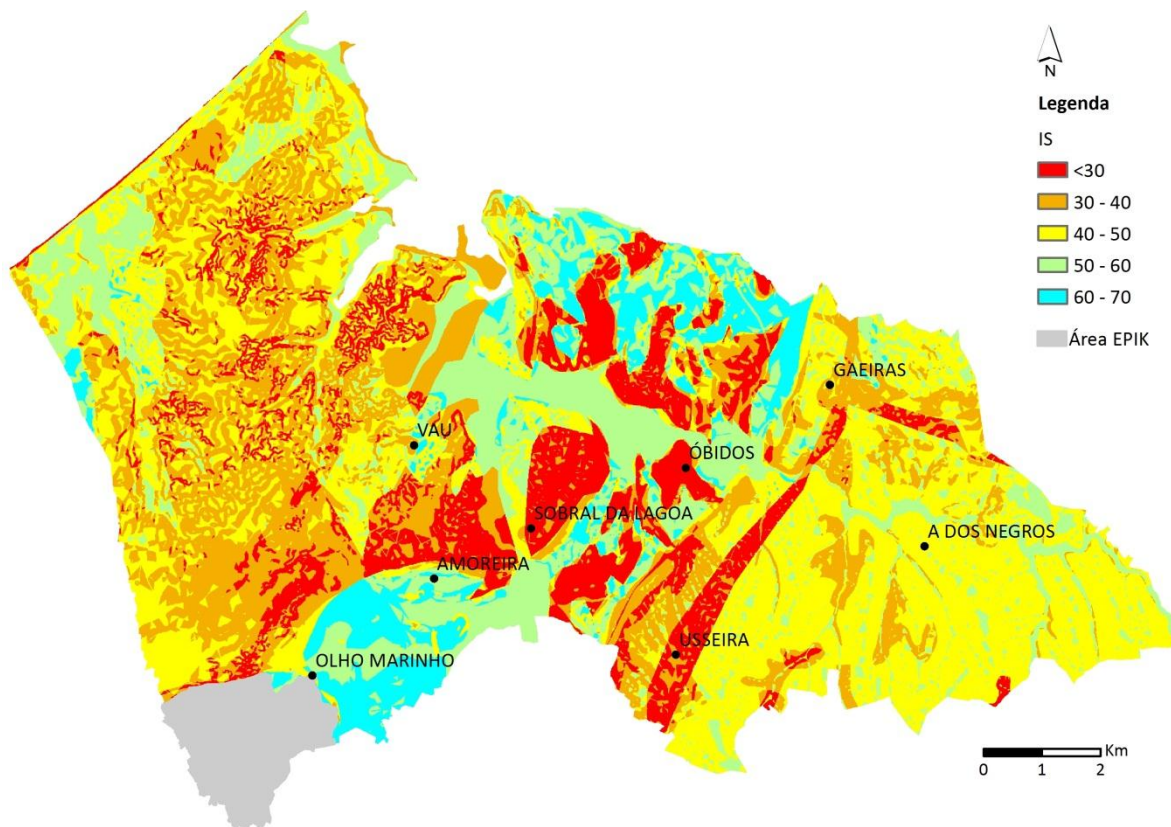


Figura 38: Representação espacial do IS, de acordo com o cenário 2.

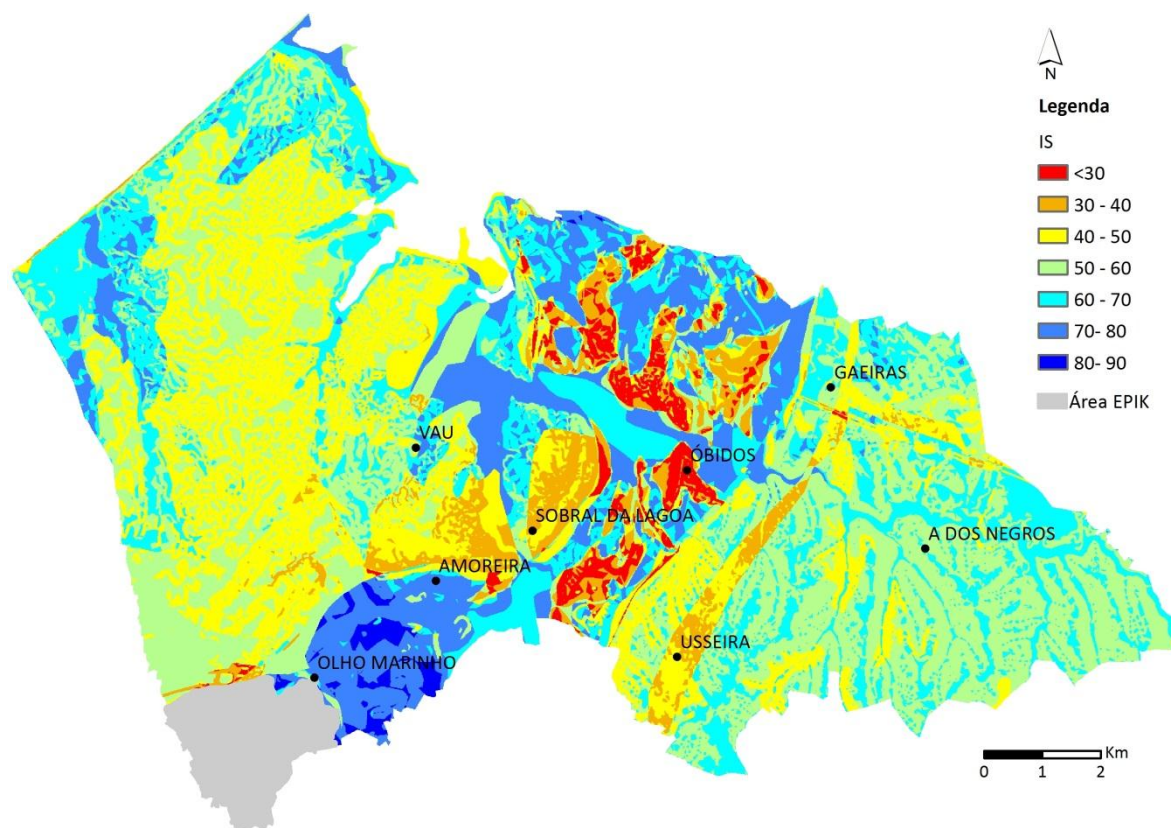


Figura 39: Representação espacial do IS, de acordo com o cenário 3.

De acordo com os resultados obtidos verifica-se que, ao contrário do observado para o IR_{ef} , não é possível fazer uma correspondência direta entre os valores de IS e as formações geológicas que afloram na área de aplicação da metodologia. Por existir apenas uma pequena diferença entre a ponderação dos parâmetros D, R e A, tal como referido anteriormente, os valores mínimos e máximos calculados não podem ser diretamente associados à natureza e permeabilidade das formações, dado serem também muito influenciados pela determinação dos parâmetros D e R.

Esta situação é verificada, por exemplo, na área de afloramento do Complexo de Dagorda, onde se observa que os valores de IS podem variar entre três classes de vulnerabilidade, apesar da natureza impermeável desta formação geológica. Por outro lado, relativamente a áreas onde seria expectável a existência de valores sempre elevados, ou seja, formações constituídas por sedimentos muito permeáveis, como as areias de duna, observa-se também essa variação, tendo sido calculados valores de IS que se incluem em quatro classes de vulnerabilidade.

Apesar desta influência dos parâmetros D e R no cálculo do índice, verifica-se que existe efetivamente uma variação dos resultados finais condicionada pela ponderação das classes do parâmetro A, tal como comprovam as diferenças observadas entre os cenários 1, 2 e 3 (Figuras 37 a 39).

Tendo em conta os critérios adotados pela metodologia para a definição das áreas de recarga, ou seja, são delimitadas as áreas que tomam a classificação de extremamente vulnerável a elevada, e atendendo às duas situações extremas de atribuição dos valores mínimos ou máximos às classes deste parâmetro, observam-se nas figuras anteriores diferenças significativas entre os cenários 2 e 3.

No cenário 2, devido à ponderação atribuída, não são obtidos valores de IS que levem à delimitação de áreas de recarga. Com a definição dos valores mínimos de cada classe do parâmetro A, neste cenário não são abrangidas quaisquer áreas onde, devido às suas características, se considerasse à partida uma maior capacidade de recarga, como por exemplo as areias de duna, mencionadas anteriormente, ou os depósitos pliocénicos que constituem a formação aquífera da massa de água Caldas da Rainha-Nazaré.

Por outro lado, no cenário 3 observa-se uma situação bastante distinta, com a definição de áreas de recarga na maior parte das formações que afloram na área de aplicação do índice, com exceção do Complexo de Dagorda, das rochas doleríticas e dos afloramentos das Camadas de Alcobaça e das Camadas de Montejunto ao longo dos bordos do vale tifónico. Neste cenário observam-se, de um modo geral, valores de IS elevados nos depósitos quaternários, nas areias pliocénicas e em algumas áreas das formações detríticas do Jurássico superior e do Cretácico (Figura 40).

Relativamente ao cenário 1, e dado que foram atribuídas às classes do parâmetro A as ponderações que a metodologia considera serem as mais habituais para o tipo de formação geológica em causa, obtém-se uma delimitação que poderia ser equacionada como sendo a mais adequada das três obtidas com a aplicação deste índice. Contudo, identificam-se diferenças significativas entre este cenário e o 3, não só no que respeita à eliminação de áreas nas formações do Jurássico e do Cretácico como à redução substancial das áreas incluídas nos depósitos quaternários e pliocénicos (Figura 41).

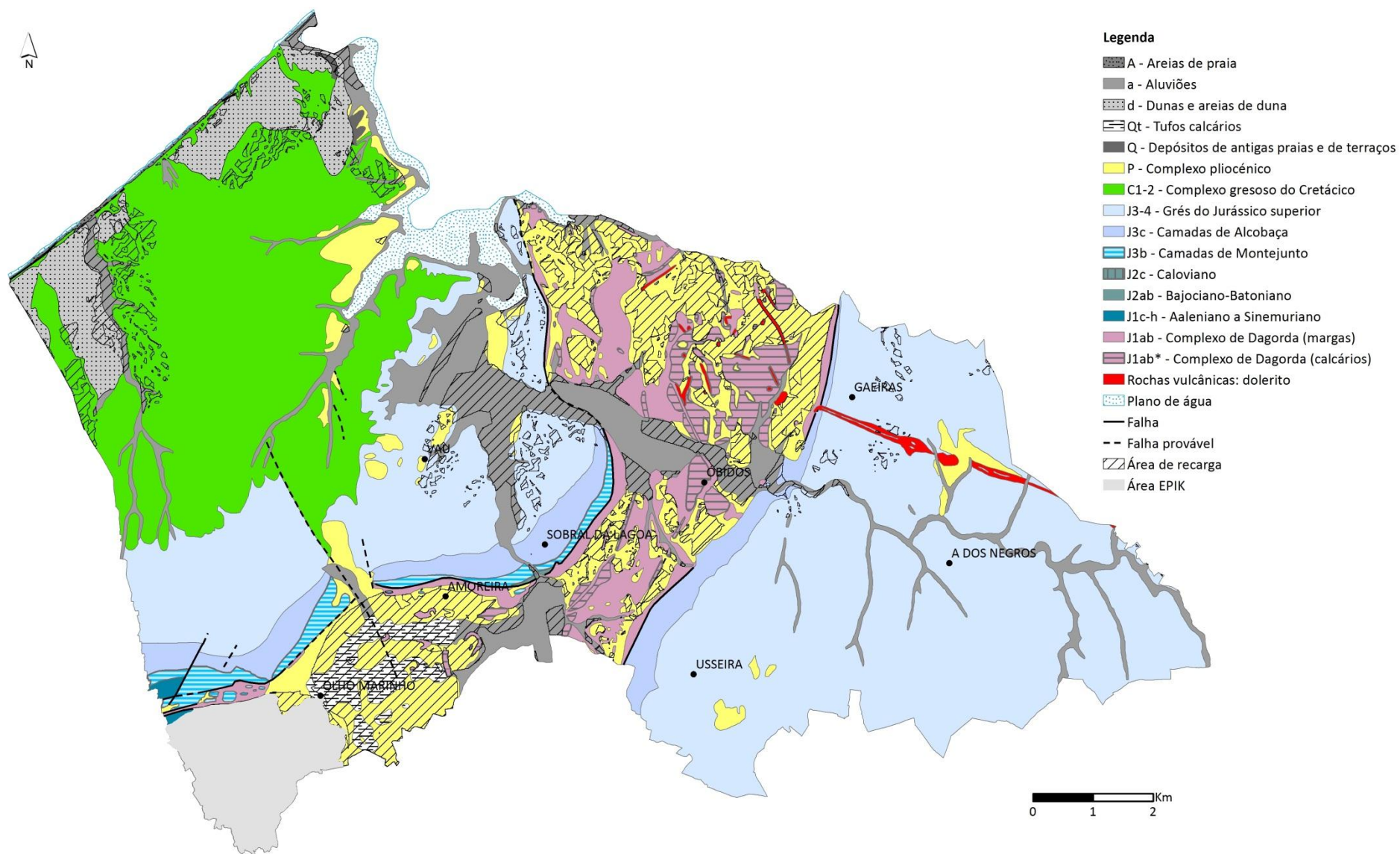


Figura 40: Representação espacial do IS, de acordo com o cenário 3, sobre a cartografia geológica.

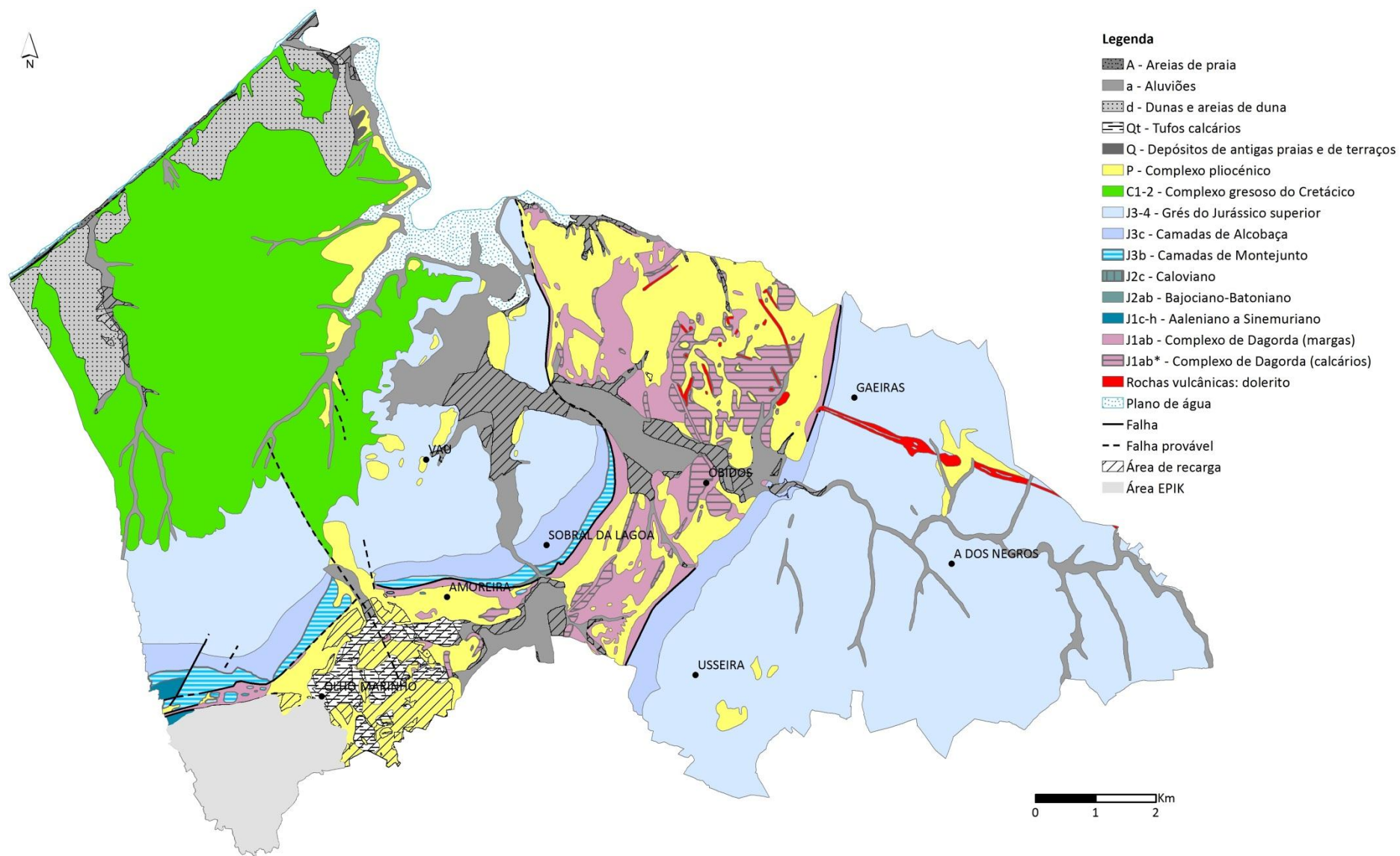


Figura 41: Representação espacial do IS, de acordo com o cenário 1, sobre a cartografia geológica.

5.2. EPIK

5.2.1. Epicarso (E)

O mapeamento do parâmetro E foi realizado a partir da identificação de discontinuidades nas formações que afloram na área de aplicação do EPIK. Através da observação realizada durante os trabalhos de campo, verificou-se que as Camadas de Montejuento apresentam maior fraturação do que as litologias do Jurássico médio, sendo-lhes por isso associada a classe relativa ao maior desenvolvimento do epicarso (E1).

Tal como referido anteriormente, os fenómenos de carsificação são evidentes no planalto da Cesareda existindo em algumas zonas lapas, grutas e galerias que, apesar de não se localizarem na área em estudo, ocorrem ao longo de discontinuidades existentes nas Camadas de Montejuento, o que reforça a classificação atribuída ao parâmetro E (Figura 42).

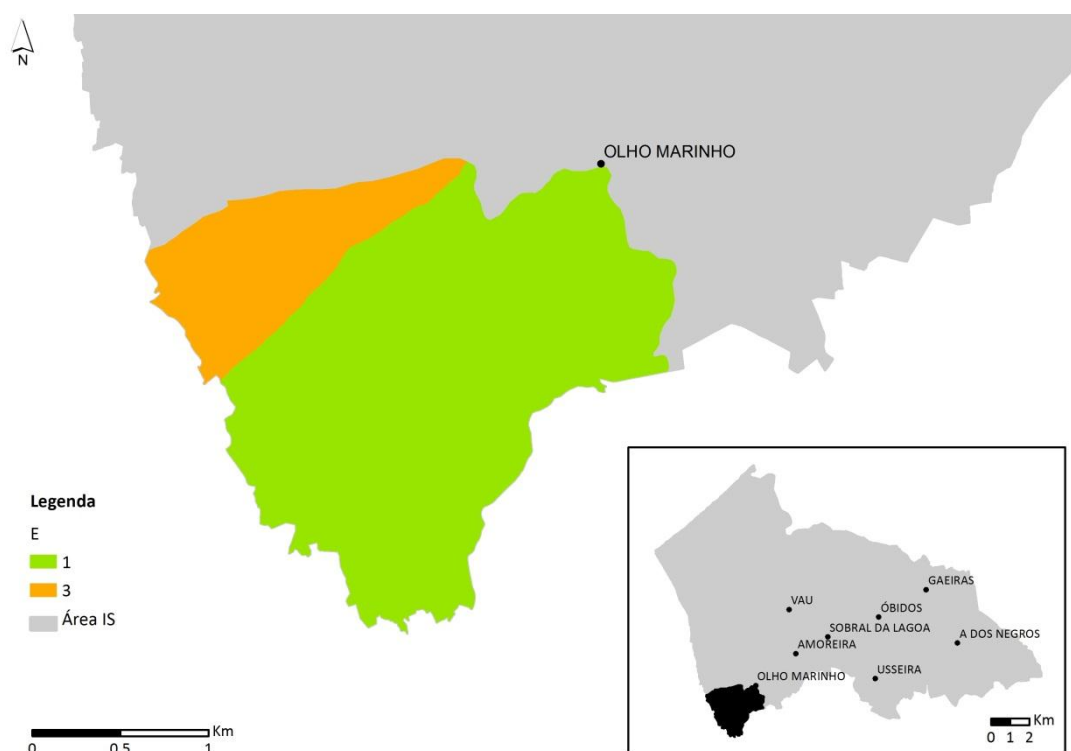


Figura 42: Distribuição espacial do parâmetro E do EPIK.

5.2.2. Cobertura de proteção (P)

Para a determinação do parâmetro P recorreu-se à observação de imagens de satélite obtidas através do ArcGIS Online para identificar a presença de solo na área em estudo, a qual foi complementada com observações realizadas em campo. Utilizando esta metodologia verificou-se que o afloramento rochoso é observado através de fotografia aérea na maior parte da área em

estudo, constatando-se ainda em campo que o solo é inexistente ou apresenta uma espessura inferior a 20 cm (Figura 43), tendo sido por isso atribuída a classe P1. Existem contudo alguns locais onde se supõe que essa espessura seja superior, apesar de não ter sido possível confirmar de forma direta em campo, dado serem áreas de atividade agrícola, nas quais foi definida a classe P2.

Com base no trabalho realizado obteve-se o mapeamento apresentado na Figura 44.



Figura 43: Afloramento das formações jurássicas no planalto da Cesareda, onde se observa a espessura reduzida de solo.



Figura 44: Distribuição espacial do parâmetro P do EPIK.

5.2.3. Condições de infiltração (I)

A informação necessária para a determinação do parâmetro I foi obtida através do mapa de declives, construído a partir do modelo digital de terreno, da rede de drenagem definida na Carta Militar de Portugal à escala 1:25.000 e com base no CORINE Land Cover 2006 (Caetano e Nunes, 2009).

Relativamente ao mapeamento da classe I1, foram consideradas as linhas de água que constituem a rede de drenagem da área de aplicação do EPIK e respetivas margens, com uma largura definida de 10 m.

No que respeita ao uso do solo, utilizou-se o mapa de caracterização do uso e ocupação do solo em 2006 para Portugal Continental (CORINE Land Cover 2006), de modo a identificar existência de vegetação em áreas cultivadas, prados e pastagens ou espaços florestais. Tal como descrito no capítulo 3.2.2., apesar de serem consideradas apenas as áreas cultivadas e os prados e pastagens na metodologia inicialmente definida, podem ser utilizados outros critérios quando a área em estudo se caracteriza por uma ocupação essencialmente florestal. O caso em estudo corresponde efetivamente a esta última situação, tendo-se optado por definir dois cenários para a determinação do parâmetro I, que compreendem a aplicação da metodologia original e a alteração apresentada por Robu (2009). Assim, obteve-se o mapeamento apresentado nas Figuras 45 e 46.

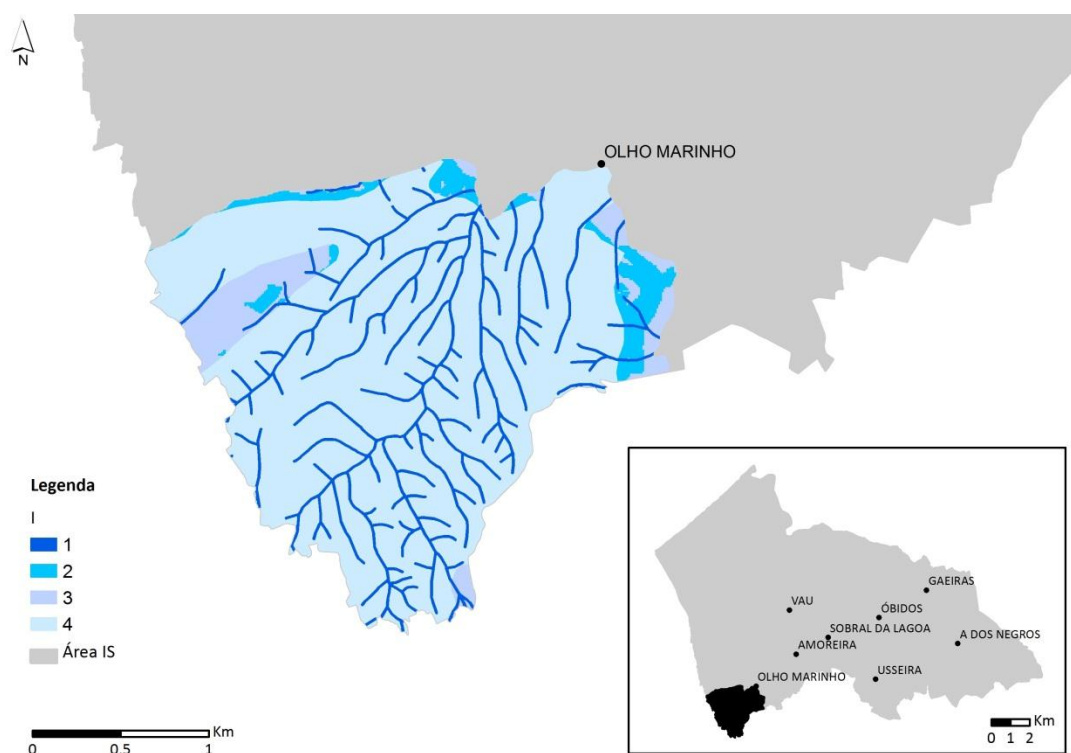


Figura 45: Distribuição espacial do parâmetro I do EPIK, de acordo com a metodologia definida por Doerfliger e Zwahlen (1997).

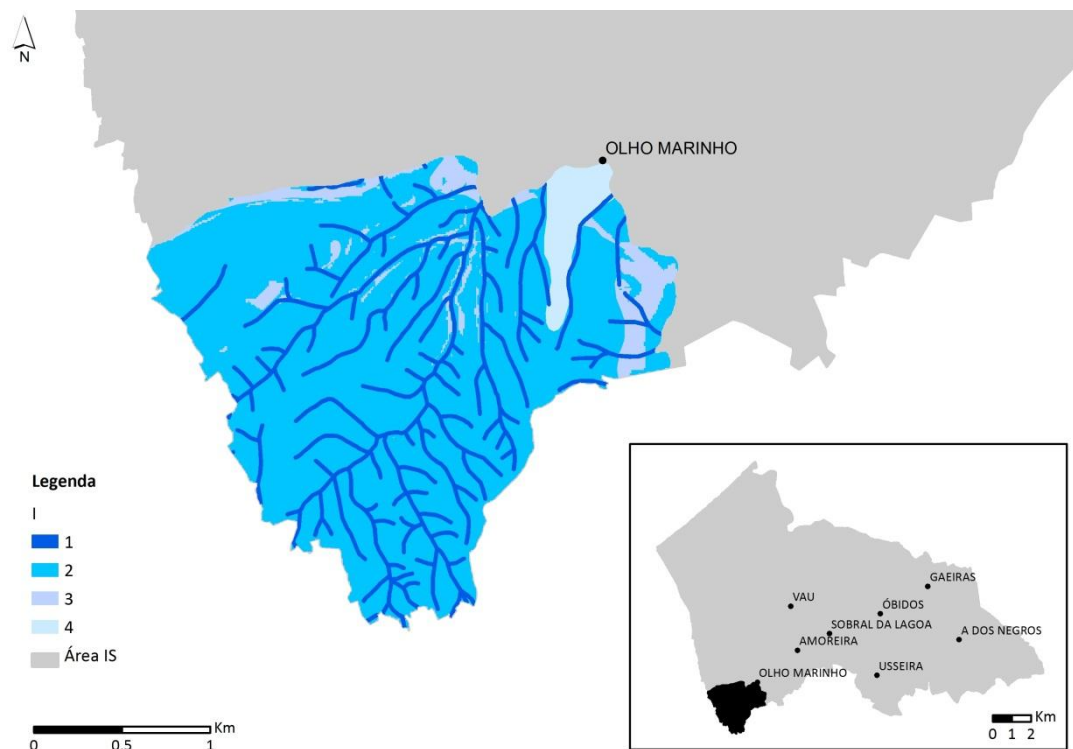


Figura 46: Distribuição espacial do parâmetro I do EPIK, de acordo com os critérios apresentados em Robu (2009).

5.2.4. Grau de desenvolvimento da rede cárstica (K)

A avaliação do grau de desenvolvimento da rede cárstica constitui o parâmetro de determinação mais complexa de todos os que se consideram para o cálculo do EPIK, principalmente no que respeita ao mapeamento das classes K1 e K2, sendo comum a atribuição de um único valor para toda a bacia hidrográfica quando não é possível realizar com detalhe esta avaliação.

No caso em estudo, considerando o âmbito e objetivo do trabalho e dada a dimensão da área de aplicação da metodologia, o parâmetro K foi determinado de modo relativamente expedito, com base na caracterização anteriormente apresentada. Atendendo a que as classes K1 e K2 definem um grau de desenvolvimento moderado a muito desenvolvido e fraco, respetivamente, e considerando os fenómenos de carsificação existentes no planalto da Cesareda, classificou-se toda a área com o valor 1 (K1), optando-se assim por uma classificação conservadora (Figura 47).

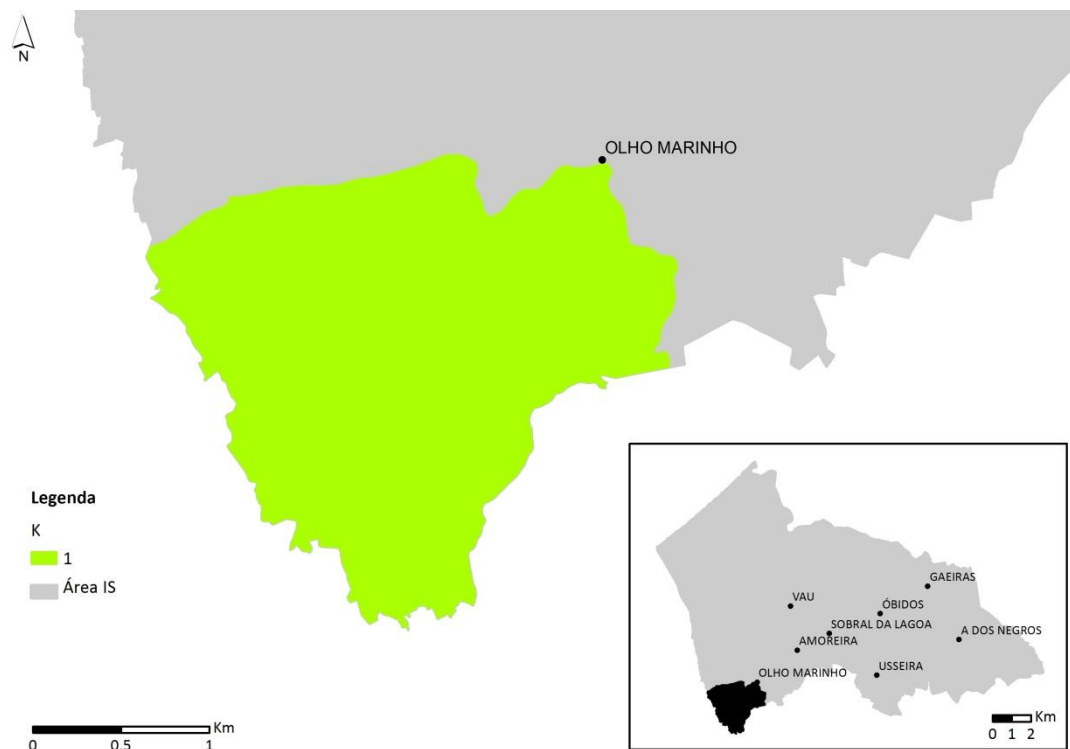


Figura 47: Distribuição espacial do parâmetro K do EPIK.

5.2.5. Cálculo do EPIK

O índice EPIK foi calculado para a área abrangida pelas formações geológicas do Jurássico médio e superior incluídas na massa de água Cesareda, com base nos quatro parâmetros determinados e na equação 3 enunciada anteriormente. A partir desta equação verifica-se que os aspetos relativos ao epicarso e às condições de infiltração são considerados os mais relevantes para a avaliação da vulnerabilidade à poluição em meios cársicos, dada a sua maior ponderação relativamente aos restantes parâmetros.

Analisando os resultados apresentados no capítulo 6.2. para estes parâmetros, verifica-se que no parâmetro E a área abrangida pelas Camadas de Montejunto é a que apresenta menor classificação e, consequentemente, aquela onde o impacto potencial da poluição será maior. Por outro lado, no que respeita ao parâmetro I, foram definidos dois cenários devido à ocupação do solo na área de aplicação da metodologia, verificando-se através do mapeamento obtido que a alteração da metodologia original conduz ao aumento da área onde é mais provável a ocorrência de infiltração.

Os parâmetros P e K apresentam uma distribuição espacial relativamente homogênea, com a atribuição de uma única classe a toda a área de aplicação da metodologia. Apenas no parâmetro P se distinguem pequenas áreas onde foi definida uma classificação diferente, dada a espessura de solo provavelmente existente nesses locais.

O índice EPIK foi assim determinado considerando os dois cenários definidos, apresentando-se nas Figuras 48 e 49 os resultados obtidos.

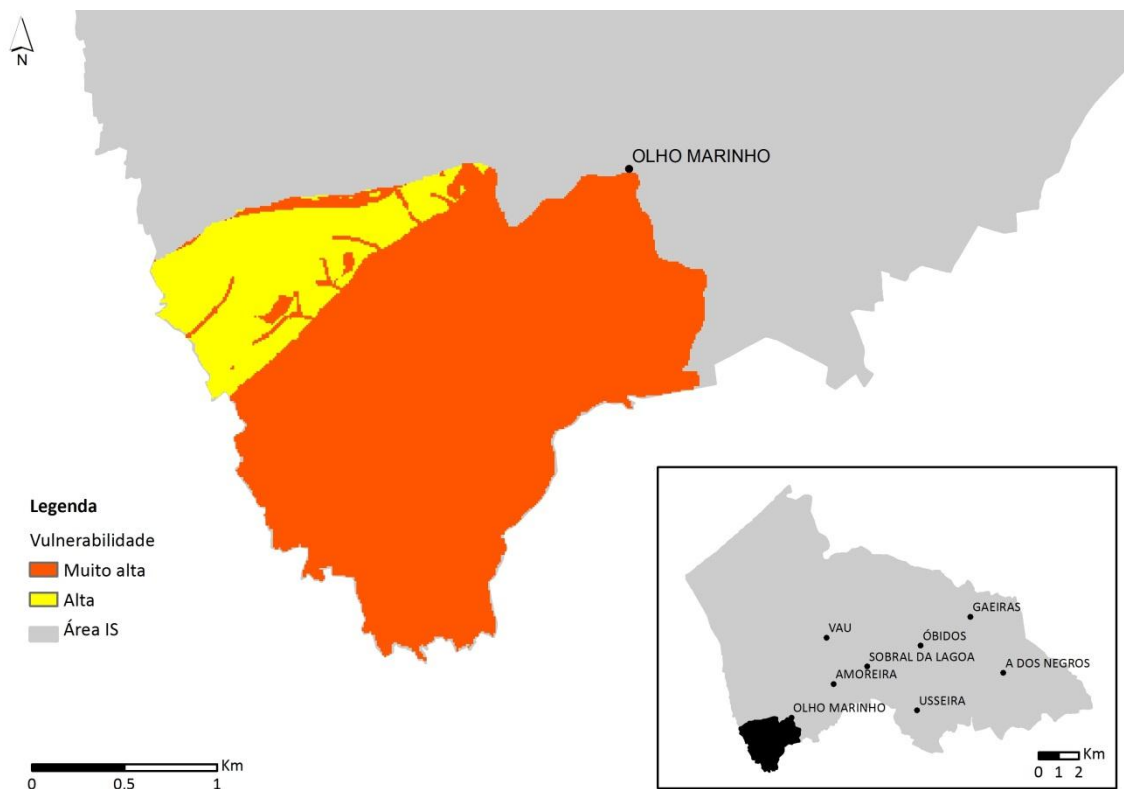


Figura 48: Distribuição espacial do índice EPIK, de acordo com a metodologia definida por Doerfliger e Zwahlen (1997).



Figura 49: Distribuição espacial do índice EPIK, de acordo com os critérios apresentados em Robu (2009).

Analisando os resultados finais da aplicação do EPIK verifica-se que nesta área a vulnerabilidade se caracteriza como alta ou muito alta, independentemente do cenário considerado, observando-se também que a utilização de critérios diferentes da metodologia original para o parâmetro I traduz-se no aumento da área onde a vulnerabilidade é muito alta.

Atendendo a que a principal diferença entre os dois cenários está relacionada com o tipo de ocupação do solo, e dado que nesta área predominam os espaços florestais, considera-se mais adequada a adoção dos critérios apresentados em Robu (2009), que conduzem à obtenção do resultado final do EPIK ilustrado na Figura 49.

Apesar da diferença observada entre os dois cenários, verifica-se os resultados obtidos conduzem à delimitação de áreas de recarga iguais, dado que estas devem corresponder às classes de vulnerabilidade muito alta e alta. Assim, com a aplicação do EPIK conclui-se que toda a área deve ser considerada como área de recarga.

6. COMPARAÇÃO DAS METODOLOGIAS

6.1. Meios porosos e mistos

A definição das áreas de recarga nos meios porosos e mistos existentes na área em estudo foi efetuada a partir do cálculo do IR_{ef} e do IS, tendo sido obtidos os resultados apresentados nos capítulos 5.4 e 6.1.5.

A aplicação destes dois índices baseia-se na soma ponderada de um conjunto de parâmetros que condicionam a infiltração da água nos aquíferos, verificando-se que três desses parâmetros são comuns às duas metodologias. Existe num entanto um quarto parâmetro considerado pelo IS para a definição das áreas de recarga, que diz respeito à profundidade da zona não saturada.

Para a determinação destes parâmetros é necessário proceder à recolha de informação de base de natureza geológica, hidrogeológica e topográfica, encontrando-se sistematizada no Quadro 17 a correspondência entre os parâmetros de ambas as metodologias, o peso relativo de cada um no cálculo dos índices e o tipo de informação necessária para a sua aplicação.

Quadro 17: Comparação entre o IR_{ef} e o IS – parâmetros calculados e informação de base

Índice de Recarga Efetiva (IR_{ef})		Índice de Suscetibilidade (IS)		Informação
Parâmetro	Peso (%)	Parâmetro	Peso (%)	
Recarga potencial (I_p)	20	Recarga do aquífero (R)	27	Hidrogeologia
Declive da superfície topográfica (D)	20	Topografia (T)	16	Topografia
Litologia e estrutura da zona vadosa (ZV)	60	Geologia do aquífero (A)	33	Geologia
-	-	Profundidade da zona não saturada (D)	24	Hidrogeologia

Relativamente à informação que serviu de base ao desenvolvimento do trabalho, salienta-se que os parâmetros que apresentam correspondência entre cada índice foram determinados a partir do mesmo conjunto de dados, nomeadamente:

- I_p e R – valores de recarga obtidos com o modelo BALSEQ_MOD (Oliveira, 2004), no âmbito do Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste;
- D e T – mapa de declives gerado através de um modelo digital de terreno, que foi construído a partir da informação altimétrica da Carta Militar de Portugal à escala 1:25.000;
- ZV e A – informação recolhida em bibliografia e obtida durante a realização dos trabalhos de campo.

Considerando ambos os índices, verifica-se que o parâmetro mais relevante é o relativo aos aspetos geológicos da área em estudo. Qualquer que seja o método, é dada maior importância à natureza e às características das formações geológicas que afloram na área de aplicação da metodologia, principalmente no IR_{ef} , em que o parâmetro ZV apresenta uma ponderação de 60%, sendo esta

correspondência claramente demonstrada pelos resultados finais obtidos (Figuras 21 a 26 do capítulo 5.4).

Apesar da caracterização geológica ter um papel relevante em ambos os índices, identificam-se algumas diferenças no que respeita às classes definidas em cada parâmetro (ZV e A) e à ponderação atribuída. No caso do IR_{ef} , o parâmetro ZV é definido pela metodologia para cada formação existente na área em estudo, ou seja, de modo geral, as classes do parâmetro correspondem às formações geológicas. Quanto ao IS, o parâmetro A é definido em função do tipo litológico e inclui um número relativamente reduzido de classes, que dificultam por vezes a ponderação de uma determinada formação geológica. A título de exemplo, cita-se o caso do Complexo de Dagorda, formação à qual foi atribuída a ponderação da classe “Formação de Dagorda” do parâmetro ZV (valor 1), enquanto para a determinação do parâmetro A foi associada à classe “Xisto argiloso, argilito” (valores 10 a 30) que, não correspondendo totalmente às litologias que constituem esta formação, considera-se que seja a classe que melhor se adequa, em alternativa ao “Calcário maciço” (valores 40 a 90). Deste modo, observa-se que os resultados do parâmetro A podem tornar-se mais homogêneos, como ilustram as Figuras 33, 34 e 35 apresentadas no capítulo 6.1.3, verificando-se que, por associar as características de cada formação a uma classe, o parâmetro ZV torna-se mais específico na sua determinação.

Relativamente aos restantes parâmetros verifica-se que, enquanto o IR_{ef} define que a recarga potencial (I_p) e o declive da superfície topográfica (D) têm um peso equivalente no cálculo do índice, considerando assim que os dois parâmetros influenciam de igual modo a definição das áreas de recarga, o IS atribui maior importância à recarga do aquífero (R), seguida da profundidade da zona não saturada (D) e, por último, da topografia (T). Novamente a partir dos valores obtidos com o cálculo dos dois índices (Figuras 21 a 26 do capítulo 5.4), verifica-se efetivamente que a diferença na ponderação dos parâmetros e o facto de o IS considerar relevante a profundidade da zona não saturada, conduz a resultados distintos, que se traduzem na definição de diferentes áreas de recarga. As Figuras 50 e 51 ilustram estas diferenças, apresentando-se a comparação das áreas de recarga calculadas com o IR_{ef} e o IS nos cenários 1 e 3. Esta comparação não é efetuada para o cenário 2, por não terem sido definidas áreas de recarga com a aplicação do IS.

Com base nestes resultados observa-se que, de um modo geral, as áreas calculadas pelo IS correspondem a áreas também definidas pelo IR_{ef} , no entanto estas abrangem uma extensão superior comparativamente às primeiras (Quadro 18).

Quadro 18: Extensão das áreas de recarga definidas pelo IR_{ef} e IS (em km^2 e em %, considerando a área de aplicação dos índices)

Cenário	IR_{ef}		IS	
	Área (km^2)	Área (%)	Área (km^2)	Área (%)
1	30,3	22,6	7,1	5,3
2	18,0	13,4	0,0	0,0
3	41,4	30,9	18,3	13,7



Figura 50: Comparação das áreas de recarga obtidas com o IR_{ef} e o IS para o cenário 1.

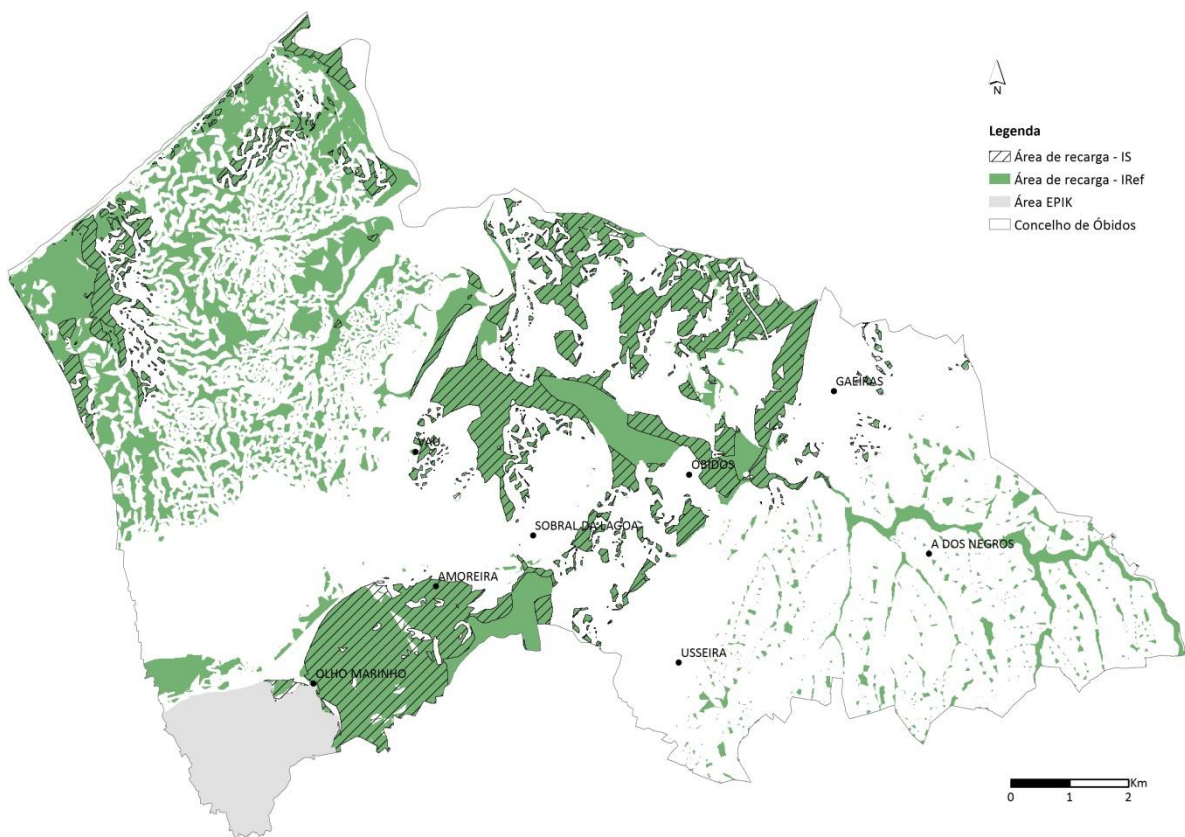


Figura 51: Comparação das áreas de recarga obtidas com o IR_{ef} e o IS para o cenário 3.

De modo a compreender as diferenças observadas nas Figuras 50 e 51, importa analisar cada parâmetro dos dois índices. Considerando ainda que os valores do IR_{ef} e respetivos parâmetros são calculados numa escala de 1 a 10, enquanto o IS é determinado de 10 a 100, modificou-se a escala deste último para melhor comparar cada parâmetro, devendo ter-se em conta esta alteração nas situações apresentadas em seguida com a indicação dos valores relativos a este índice.

Neste sentido, e começando pelos parâmetros relativos ao declive da superfície topográfica (D e T) e por aqueles que quantificam a recarga (I_p e R), verifica-se que ambos consideram as classes e os valores utilizados na determinação do índice DRASTIC, utilizado para avaliar a vulnerabilidade à poluição, pelo que não podem ser estes parâmetros os responsáveis pelas diferenças observadas (Quadros 19 e 20).

Quadro 19: Comparação dos parâmetros D (IR_{ef}) e T (IS)

Recarga (mm/ano)	Ponderação IR_{ef}	Ponderação IS
<51	1	1
51 - 102	3	3
102 - 178	6	6
178 - 254	8	8
>254	9	9

Quadro 20: Comparação dos parâmetros I_p (IR_{ef}) e R (IS)

Declive (%)	Ponderação IR_{ef}	Ponderação IS
<2	10	10
2 - 6	9	9
6 - 12	5	5
12 - 18	3	3
>18	1	1

Quanto aos parâmetros relativos à natureza e características das formações geológicas (ZV e A), apresenta-se no Quadro 21 a comparação entre as classes e ponderações do IR_{ef} e do IS.

Quadro 21: Comparação dos parâmetros ZV (IR_{ef}) e A (IS)

Formação geológica	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	IR_{ef}	IS	IR_{ef}	IS	IR_{ef}	IS
Aluviões	6	8	6	4	6	9
Dunas e areias de duna	10	8	10	4	10	9
Areias de praia	10	8	10	4	10	9
Tufos calcários de Rio Maior e Olho Marinho	8	8	6	4	8	9
Depósitos de antigas praias e de terraços	10	8	10	4	10	9
Complexo astiano de Nadadouro e Águas Santas e Camadas	5	6	3	5	6	9

Formação geológica	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	IR _{ef}	IS	IR _{ef}	IS	IR _{ef}	IS
vilafranquianas com lignitos e diatomitos de Rio Maior, Óbidos, etc.						
Complexos gresosos de Olhos Amarelos, Pousio da Galeota e Gansaria	4	6	3	5	6	9
Grés superiores com vegetais e dinossáurios	3	6	3	5	4	9
Camadas de Alcobaça	4	8	3	4	4	9
Camadas de Montejunto	8	8	6	4	8	9
Caloviano	8	8	8	4	10	9
Bajociano-Batoniano	8	8	8	4	10	9
Aaleniano a Sinemuriano	6	8	6	4	7	9
Complexo de Dagorda (margas)	1	2	1	1	1	3
Complexo de Dagorda (calcários)	1	2	1	1	1	3
Rochas vulcânicas	2	4	2	3	2	5

De acordo com os valores apresentados no Quadro 21 verifica-se que, com exceção do cenário 2, em que as ponderações do IS são na maioria inferiores às do IR_{ef}, nos cenários 1 e 3 os valores atribuídos às formações geológicas são, de um modo geral, superiores na determinação do IS. A esta regra geral excetuam-se apenas as classes relativas a “Dunas e areias de duna”, “Areias de praia” e “Depósitos de antigas praias e de terraços”, formações que abrangem uma área pouco extensa comparativamente às restantes e que apresentam ponderações do IR_{ef} superiores às do IS.

Excluindo desta análise comparativa os resultados obtidos com o cenário 2, dado que o cálculo do IS não devolveu valores de vulnerabilidade suficientemente altos para a definição de áreas de recarga, conclui-se que as diferenças entre as áreas representadas nas Figuras 50 e 51 não podem ser totalmente explicadas pelas ponderações atribuídas aos parâmetros ZV e A dado que, verificando-se a partir do Quadro 21 que ao IS estão associados, de um modo geral, valores superiores aos do IS, seria expectável que o resultado final deste índice conduzisse à definição de uma maior extensão de áreas de recarga.

Atendendo à comparação entre todos os parâmetros anteriores, verifica-se assim que a diferença entre os valores de IR_{ef} e IS está associada ao facto de o IS considerar o parâmetro relativo à profundidade da zona não saturada (D). A utilização desta informação no cálculo do índice, assim como a origem dos dados que permitem a determinação deste parâmetro, corresponde então ao fator responsável pelas diferenças entre as áreas apresentadas, concluindo-se ainda que o rigor associado a esta determinação, associado principalmente à existência de informação de base, condiciona os resultados finais do índice. Verifica-se deste modo que para obter um resultado coerente e que traduza, na medida do possível, a superfície real que corresponde à profundidade do nível da água, o cálculo do parâmetro D do IS deve ter em conta os seguintes aspetos:

- Distribuição uniforme dos pontos de água com dados sobre a profundidade do nível da água;
- Utilização de dados correspondentes a períodos temporais relativamente curtos, dado que é provável que em intervalos de tempo maiores possam ocorrer alterações significativas na profundidade do nível da água;

- Utilização de dados relativos apenas à profundidade do nível estático, ou seja, medições efetuadas aquando da construção da captação ou durante períodos em que não se verifique extração de água;
- Identificação do nível de água medido, a partir da informação obtida no relatório de sondagem da captação, de modo a confirmar que todas as captações utilizadas são representativas do mesmo nível de água.

Salienta-se que a informação de base disponível condiciona em grande medida o cumprimento destes critérios, não sendo por vezes possível reunir todas as condições ideais para a definição da superfície correspondente à profundidade do nível da água.

6.2. Meio cársico

Para a área onde afloram as formações do Jurássico médio e superior na massa de água Cesareda foram determinados dois índices com vista à identificação das áreas de recarga – o IR_{ef} e o EPIK. Apesar de ambos corresponderem à soma ponderada de vários parâmetros, cada metodologia considera critérios distintos para a definição das áreas de recarga: enquanto para o IR_{ef} estas áreas são calculadas com base em aspetos relacionados com as características das formações geológicas, a recarga e o declive da superfície topográfica, tal como referido anteriormente, o EPIK envolve a determinação de parâmetros relacionados apenas com a geologia, hidrogeologia e geomorfologia dos aquíferos cársicos.

Deste modo, a comparação dos resultados obtidos com a aplicação destas metodologias não pode ser efetuada da mesma forma que a análise apresentada no capítulo anterior (7.1), relativa à definição das áreas de recarga nos meios porosos e mistos, em que foram comparados todos os parâmetros do IR_{ef} e do IS. No caso dos meios cársicos não se verifica efetivamente a correspondência entre os parâmetros de cada metodologia, principalmente devido ao âmbito específico de aplicação do EPIK.

Com o cálculo destes dois índices obteve-se o mapeamento das áreas de recarga que se encontra ilustrado na Figura 52. A partir desta representação, verifica-se que a área de recarga que resultou do cálculo do EPIK corresponde à área total de aplicação do índice, ao contrário do IR_{ef} .

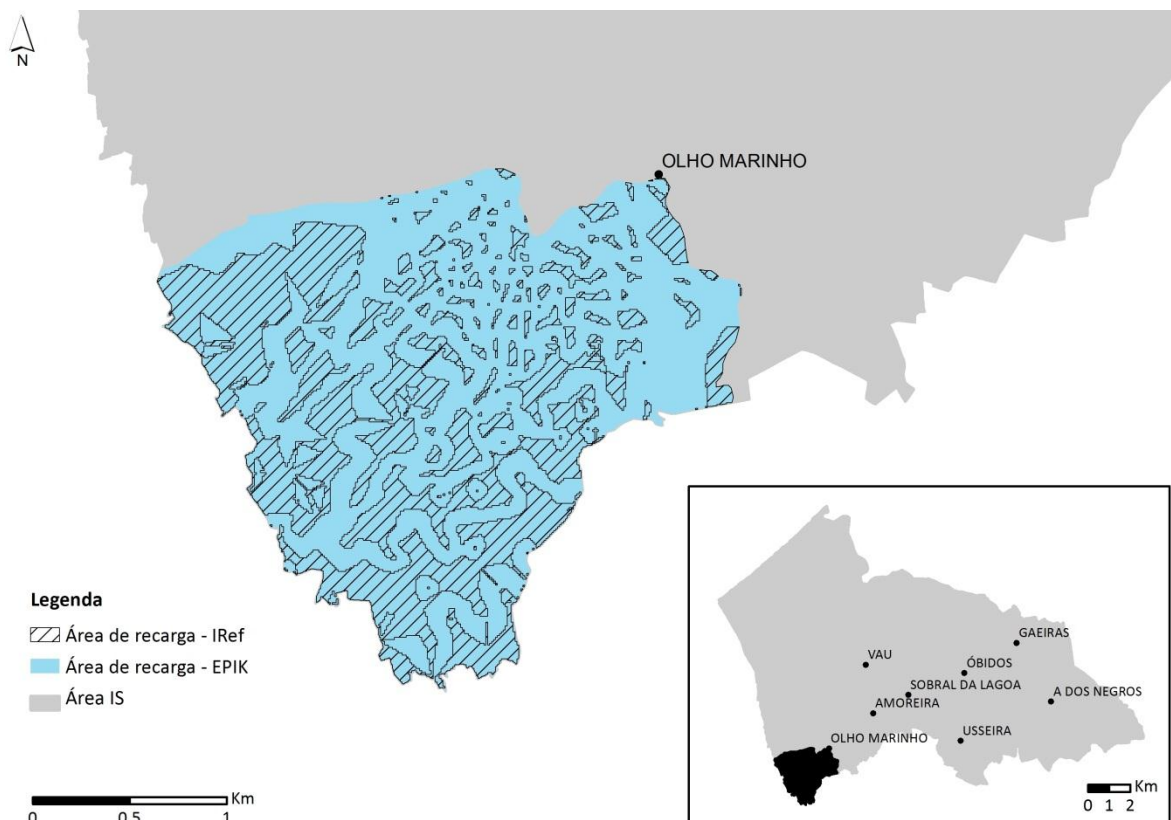


Figura 52: Comparação das áreas de recarga obtidas com o IR_{ef} e o EPIK.

No que respeita ao IR_{ef} , e analisando a distribuição espacial dos parâmetros I_p , D e ZV apresentada nos capítulos 5.1, 5.2 e 5.3, conclui-se que o parâmetro responsável pela diferença observada na Figura 52 é o declive da superfície topográfica (D). De acordo com os resultados apresentados nas Figuras 16, 18, 19 e 20, verifica-se que os parâmetros I_p e ZV apresentam a mesma ponderação em toda a área de afloramento das formações do Jurássico médio e superior na massa de água Cesareda, existindo apenas variação do parâmetro D (Figura 17).

Tal como descrito no capítulo 3.1, o parâmetro D é considerado no cálculo do IR_{ef} por corresponder a um fator importante para a ocorrência de infiltração de água no solo, dado que a uma maior inclinação do terreno está associada uma menor capacidade de infiltração da água. Os resultados finais do índice não incluem por isso as áreas de maior declive, dado que um dos critérios da metodologia é também a identificação das áreas que correspondem às classes 8 e 9 do IR_{ef} , independentemente do declive, e às classes 6 e 7 quando o declive é $<6\%$. A situação em análise corresponde no entanto a um meio cársico, sendo também referido na metodologia que o valor da recarga efetiva é igual ao da recarga potencial quando a zona vadosa é constituída por calcário muito carsificado, adotando-se o valor 10 para o parâmetro ZV .

A Figura 56 apresenta o resultado do IR_{ef} de acordo as ponderações do parâmetro ZV atribuídas no cenário 1, ou seja, valor 8 para todas as formações. Considerando que nas Camadas de Monteunto se assume que o grau de carsificação é superior ao dos calcários do Bajociano-Batoniano e do Caloviano, tal como referido no capítulo de aplicação do EPIK (capítulo 6.2), foi efetuado um novo cálculo do IR_{ef} atendendo ao critério acima mencionado. Assim, adotou-se a ponderação 10 para as Camadas de Monteunto, verificando-se que esta alteração conduz à definição de áreas de recarga

em toda a área de afloramento desta formação (Figura 53). No entanto, apesar desta modificação nos resultados do IR_{ef} , verifica-se que a área de recarga obtida com o índice EPIK continua a apresentar maior extensão, abrangendo a totalidade da área de aplicação da metodologia.

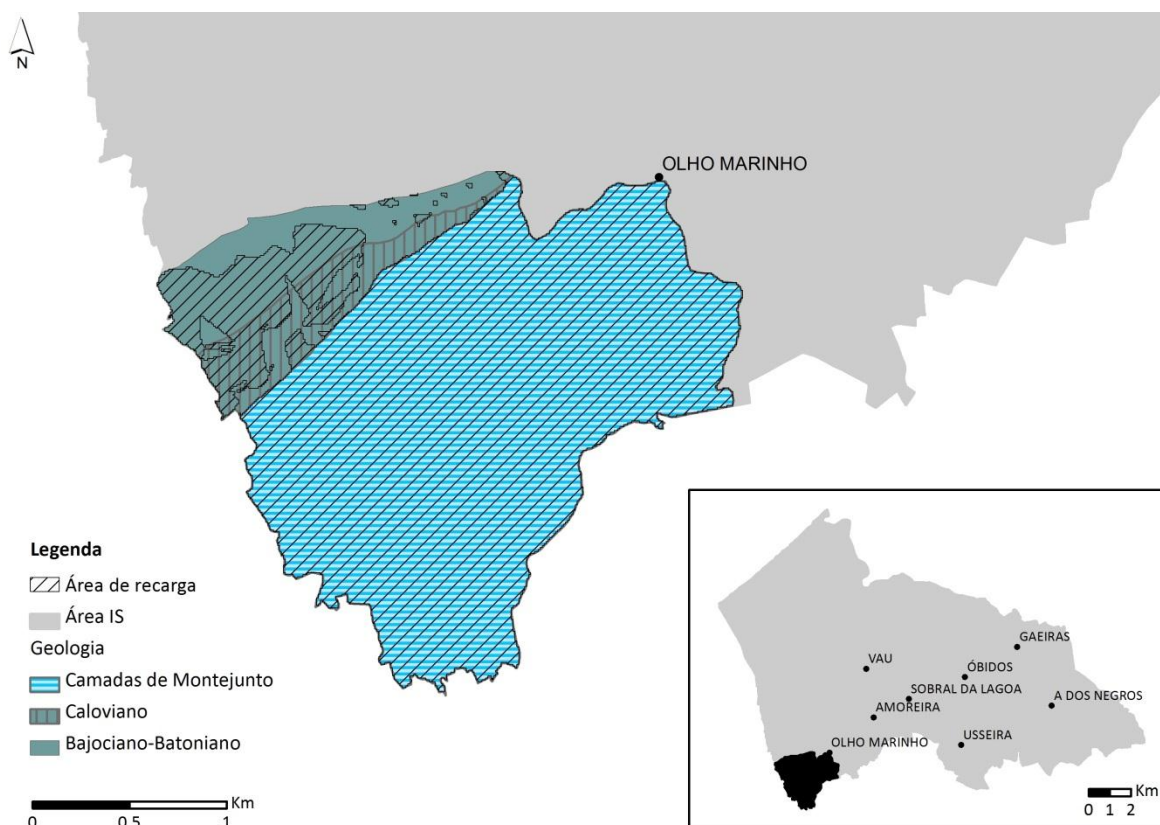


Figura 53: Representação espacial do IR_{ef} na massa de água Cesareda, considerando a ponderação 10 atribuída ao parâmetro ZV para as Camadas de Montejuento.

Com base nos resultados obtidos observa-se que a aplicação do EPIK conduz, neste caso, a uma delimitação mais conservadora, dado que abrange toda a área de afloramento das formações. O cálculo deste índice compreende no entanto um conjunto de parâmetros de difícil determinação, devido à informação de base a utilizar, sendo necessária a realização de estudos específicos para obter com maior rigor a distribuição espacial das classes associadas a cada parâmetro. Devido a esta especificidade, o cálculo do EPIK é realizado muitas vezes de forma subjetiva e conservadora, o que leva a que os resultados possam não traduzir efetivamente a situação real.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A identificação das áreas preferenciais para a recarga das águas subterrâneas foi efetuada a partir da determinação de três índices, calculados em função dos meios hidrogeológicos existentes na área em estudo: o IR_{ef} foi aplicado para todo o concelho de Óbidos, de acordo com a metodologia apresentada pela CCDR-LVT no âmbito do PROT-OVT, enquanto o IS e o EPIK foram determinados separadamente para os meios porosos e mistos e para o meio cársico, respetivamente, de acordo com as orientações incluídas Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro, retificada pela Declaração de Retificação n.º 71/2012, de 30 de novembro.

Tal como em qualquer outro método de cálculo, os resultados obtidos a partir da aplicação das metodologias utilizadas neste trabalho estão sempre condicionados pela qualidade e quantidade de informação de base existente. De um modo geral, os índices podem ser calculados em qualquer área geográfica, atendendo ao seu âmbito de aplicação, no entanto a informação utilizada, ou por outro lado a falta de dados, condiciona os resultados obtidos. Neste sentido, dependendo da informação disponível, o índice pode devolver resultados que traduzam uma situação quase real ou que correspondam a um cenário diferente do que se supõe ocorrer em determinada área, considerando o conhecimento que se tem acerca desse local.

Relativamente à aplicação do IR_{ef} e do IS, e tal como referido no capítulo 7.1, observam-se diferenças significativas nos resultados obtidos como consequência do cálculo do parâmetro relativo à profundidade da zona não saturada (D) na determinação do IS, dado ter-se concluído que nenhum dos restantes parâmetros pode ser responsável pelos resultados distintos. Essas diferenças devem-se não só ao facto do parâmetro ser considerado mas também à informação necessária ao seu cálculo, reforçando-se as questões acima mencionadas. Tomando como exemplo o presente estudo de caso, verifica-se que a distribuição não uniforme dos dados utilizados, assim como a incerteza associada ao facto de as medições corresponderem efetivamente à profundidade do nível estático, podem ter condicionado a superfície obtida e, conseqüentemente, a determinação da profundidade da zona não saturada. Eventualmente, a determinação deste parâmetro pode conduzir a resultados diferentes se existir um maior esforço na recolha da informação de base, nomeadamente na definição de uma rede de pontos de água com distribuição mais uniforme, a partir de um inventário realizado em campo, e com medições efetuadas durante um intervalo temporal reduzido. Esta situação está no entanto dependente das condições em que o trabalho é desenvolvido, assim como da dimensão da área em causa e, principalmente, da acessibilidade a captações e obtenção de dados relativos às suas características.

Neste contexto, e considerando a área abrangida pelos meios porosos e mistos, admite-se que os resultados obtidos com a aplicação do IR_{ef} possam corresponder a uma identificação mais adequada das áreas de recarga, comparativamente à situação obtida com o IS. De acordo com os valores de IR_{ef} obtidos, as áreas de recarga abrangem assim total ou parcialmente as seguintes formações: areias de duna, tufos calcários, aluviões, depósitos pliocénicos e complexo gresoso do Cretácico.

No que respeita à comparação dos resultados obtidos com a determinação do IR_{ef} e do EPIK no meio cársico, verifica-se que a utilização de critérios distintos para a definição das áreas de recarga é o principal fator que justifica as diferenças identificadas entre os dois métodos. Novamente neste caso, considera-se que a informação de base utilizada para o cálculo dos índices, principalmente no caso

do EPIK devido à dificuldade na determinação de alguns parâmetros, condiciona os resultados finais. De acordo com a distribuição espacial dos índices, verifica-se que a correspondência dos resultados apenas é possível nesta situação se o parâmetro ZV do IR_{ef} adotar a ponderação máxima, ou seja, o valor 10 em todas as classes. Atendendo a que essa ponderação deve ser atribuída nos casos em que a zona vadosa é constituída por calcário muito carsificado, surge deste modo a necessidade e eventual dificuldade em analisar o grau de carsificação das formações geológicas, no sentido de identificar as áreas onde efetivamente se verifique a situação hidrogeológica com maior capacidade de recarga efetiva.

De acordo com os critérios considerados pelos dois índices, atendendo aos resultados obtidos e face à natureza e características dos meios cársicos, o EPIK consiste provavelmente na metodologia mais adequada para a definição das áreas de recarga no caso em estudo. Verifica-se ainda que a incerteza associada aos resultados finais, devido à dificuldade na determinação dos parâmetros, leva a que seja adotada uma classificação conservadora, no sentido de existir um maior grau de proteção dos recursos hídricos subterrâneos, com a delimitação de uma área de recarga que corresponde à área total de afloramento das formações geológicas identificadas.

Considerando os resultados obtidos na área em estudo, parece então que a abordagem mais adequada poderá ser a definição das áreas de recarga em duas etapas: numa primeira fase, a utilização de um método de cálculo de acordo com a qualidade e quantidade da informação de base existente, de modo a obterem-se resultados preliminares coerentes que possam corresponder a uma aproximação da realidade ou uma base de trabalho para a definição das áreas mais importantes para a recarga; seguidamente, a validação dos resultados obtidos com base no conhecimento geológico e hidrogeológico da área estudada.

8. BIBLIOGRAFIA

Almeida, C.; Mendonça, J.J.L.; Jesus, M.R.; Gomes, A.J. (2000). *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Centro de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e Instituto da Água. Lisboa. 661 pp.

Aller, L.; Bennet, T.; Lehr, J.H. & Petty, R.J. (1987) "DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings", U.S. EPA Report 600/2-85/018.

ARH Tejo (2011). *Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste. Relatório Síntese para Consulta Pública – Versão Extensa*. Administração de Região Hidrográfica do Tejo, I.P. Lisboa. 380 pp.

Azerêdo, A.; Cabral, J.; Freitas, M.C.; Andrade, C.; Silva, F.; Ferreira, T.; Ramos, R. (2006). Estudo do património biológico e análise geológica e geomorfológica da região de Óbidos. Relatório no âmbito do "Projecto de investigação e estudo do património biológico e análise geológica e geomorfológica da região de Óbidos", com vista à candidatura da Vila de Óbidos a Património Mundial. Lisboa. 158 pp.

Cabral, J. (1995). Neotectónica em Portugal Continental. Memórias do Instituto Geológico e Mineiro, n.º 31. Lisboa. 265 pp.

Caetano, M.; Nunes, V.; Nunes, A. (2009). CORINE Land Cover 2006 for Continental Portugal, Relatório técnico, Instituto Geográfico Português.

Camarate França, J.; Zbyszewski, G.; Moitinho de Almeida, F. (1960). Carta Geológica de Portugal na Escala 1/50.000 e Notícia Explicativa da Folha 26-C PENICHE. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. 33 pp.

CCDR-LVT (2009). *Reserva Ecológica Nacional do Oeste e Vale do Tejo – Quadro de Referência Regional*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo. Lisboa, 2009. 85 pp.

CCDR-LVT (2010). *Reserva Ecológica Nacional da Área Metropolitana de Lisboa – Quadro de Referência Regional*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo. Lisboa, 2010. 83 pp.

Declaração de Retificação n.º 71/2012, de 30 de novembro. Diário da República n.º 232 Série I. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto. Diário da República n.º 162 Série I. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 239/2012, de 2 de novembro. Diário da República n.º 212 Série I. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território. Lisboa.

Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2000. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*. L 327/1 – L 327/72.

Doerfliger, N.; Zwahlen, F. (1997). EPIK: A new method for outlining of protection areas in karstic environment, in: International symposium and field seminar on karst waters and environmental impacts. Günay, G. e Jonshon, A. I., Antalya, Turkey, Balkema, Rotterdam, 117-123 pp.

Doerfliger, N.; Jeannin, P. Y.; Zwahlen, F. (1999). Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environmental Geology*, 39 (2), 165-176 pp.

Fernandes, A. J. (2003). «The Influence of cenozoic tectonics on the groundwater production capacity and vulnerability of fractured rocks: a case study in São Paulo, Brazil», in Krázný, Hrkál&Bruthans (eds), *Groundwater in Fractured Rocks* 61-62, Prague, Czech Republic.

IGeoE (2003) – Carta Militar de Portugal Série M888, Escala 1/25.000, Folha 325AB – Casais dos Covões (Óbidos). Lisboa.

IGeoE (2004) – Carta Militar de Portugal Série M888, Escala 1/25.000, Folha 326 – Caldas da Rainha. Lisboa.

IGeoE (2004) – Carta Militar de Portugal, Série M888, Escala 1/25.000, Folha 337 – Peniche. Lisboa.

IGeoE (2004) – Carta Militar de Portugal, Série M888, Escala 1/25.000, Folha 338 – Óbidos. Lisboa.

IGeoE (2005) – Carta Militar de Portugal, Série M888, Escala 1/25.000, Folha 339 – Rio Maior. Lisboa.

INAG (1997). Definição, caracterização e cartografia dos sistemas aquíferos de Portugal Continental. Instituto da Água, I.P., Ministério do Ambiente. Lisboa. 236 pp.

INAG (2001). *Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste. Anexo Temático IV – Recursos Hídricos Subterrâneos*. Instituto da Água, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território. Lisboa. 291 pp.

Kullberg, J. C.; Rocha, R. B.; Soares, A. F.; Rey, J.; Terrinha, P.; Callapez, P.; Martins, L. (2006). A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria* (R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha & J. C. Kullberg, Eds.). Universidade de Évora, 317-368 pp.

Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro. Diário da República n.º 249 Série I-A. Assembleia da República. Lisboa.

Oliveira, M.M. (2004). *Recarga de águas subterrâneas: Métodos de avaliação*. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia (Hidrogeologia). Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, 440 pp.

Oliveira, M.M., Lobo Ferreira, J.P.C. (2002). Proposta de uma Metodologia para a Definição de Áreas de Infiltração Máxima. Comunicação apresentada no 6º Congresso da Água: A água é d'ouro, organizado pela Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), realizado no Centro de Congressos da Alfândega, Porto, 18 a 22 de Março de 2002, 16 pp.

Pena, S. (2008). Modelo de permeabilidade e máxima infiltração no contexto da estrutura ecológica. A sua importância no planeamento municipal e no desenho urbano. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Ordenamento do Território e Planeamento Ambiental. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, 125 pp.

Resolução do Conselho de Ministro n.º 81/2012, de 3 de outubro. Diário da República n.º 192 Série I. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.

Rey, J.; Dinis, J. (2004). "Shallow marine to fluvial Lower Cretaceous of central Portugal: sedimentology, cycles and controls" - Cretaceous and Cenozoic events in West Iberia margins, 23rd IAS Meeting of Sedimentology, Coimbra, Field Trip Guidebook, Vol. 2, 22-35 pp.

Ribeiro, A. (1984)

Ribeiro, A.; Antunes, M. T.; Ferreira, M. P.; Rocha, R. B.; Soares, A. F.; Zbyszewski, G.; Moitinho de Almeida, F.; Carvalho, D.; Monteiro, D. (1979). Introduction à la Géologie Générale du Portugal. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Ribeiro, L. (2005). *Um novo índice de vulnerabilidade específico de aquíferos à contaminação: Formulação e Aplicações*, in Atas do 7.º SILUSBA, APRH, Évora, 15 pp.

Robu, M. (2009). Groundwater vulnerability assessment in the Motru Sec karst area, the Mehedinti Mountains. Institut de Speologie Emile Racovitza, Vol. 48, 69-81 pp.

Santos, S. (1999). Contaminação de solos e águas subterrâneas do aquífero detrítico do Pó. Estágio curricular. Lisboa, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 117 pp.

Saraiva, M. P. S.; Peixinho de Cristo, F. (1994). "Aquífero do Vale Tifónico das Caldas da Rainha – Sua Importância Para o Abastecimento Público". 2º Congresso da Água – O Presente e o Futuro da Água em Portugal. Lisboa. Volume II. 39-47 pp.

SNIRH. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Agência Portuguesa do Ambiente. Acedido em: <http://snirh.pt>.

Zbyszewski, G. (1959). Etude Structurale de l'Aire Typhonique de Caldas da Rainha. *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, 3, 184 p.

Zbyszewski, G.; Moitinho de Almeida, F. (1960). Carta Geológica de Portugal na Escala 1/50.000 e Notícia Explicativa da Folha 26-D CALDAS DA RAINHA. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. 56 pp.